

(1) 実施機関名：

情報通信研究機構

(2) 研究課題(または観測項目)名：

先端リモートセンシング技術による地震及び火山の災害把握技術の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

平成 25 年度までの成果を引き継ぎ、航空機 SAR による地震及び火山の災害把握技術の発展的な開発を行うとともに、データの公開の推進と災害時等には Pi-SAR2 の必要な運用を行う。また、航空機 SAR 以外のリモートセンサを活用する技術を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

情報通信研究機構の第 3 期中期計画期間である平成 27 年度までにおいては、以下の研究活動の実施を計画している。平成 28 年度以降については、次期中期計画の策定に合わせて検討を進める。

平成 25 年度までの成果を引き継ぎ、Pi-SAR2 による地震・火山災害時の被害判読等の技術開発を進めるほか、Pi-SAR および Pi-SAR2 のデータ検索システムの公開・運用を進めることにより、災害軽減のための情報の高度化の研究に資する。また、実際の災害発生時には、Pi-SAR2 の積極的な運用と迅速なデータ配布・公開を行う。

さらに、航空機 SAR 以外の先進的リモートセンサを活用した地震及び火山災害のモニタリング技術についても検討をすすめる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

情報通信研究機構では、平成 28 年度から第 4 期中長期計画が開始された。その計画のうち本課題に関連する内容として、リモートセンシング技術の開発として、地震・火山噴火等の災害発生時の状況把握等に必要な技術として、航空機搭載合成開口レーダーについて、構造物や地表面の変化抽出等の状況を判読するために必要な技術の研究開発に取り組むとともに、観測データや技術の利活用を促進する。さらに、世界最高水準の画質(空間分解能等)の実現を目指した、レーダー機器の性能向上のための研究開発を進めることとしている。

本課題においては、平成 27 年度までの成果を引き継ぎ、Pi-SAR2 による地震・火山災害時の被害判読等の技術開発を進めるほか、Pi-SAR および Pi-SAR2 のデータ検索システムの公開・運用を進めている。

判読技術の開発の必要性もあり、平常時の火山の比較データ取得を目的として、Pi-SAR2による実験観測の中で可能な限りのデータ取得を進めること、および実際の災害時の緊急な観測も実施することとしている。平成28年4月に発生した熊本地震では、本震の翌日の被災地の観測を実施した。この観測データは関係機関への配布と、Webを通じた一般への公開を速やかに実施したほか、過去データの比較により被害地域の抽出技術の開発を実証した。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- (1) 久保田実, 浦塚清峰, 児島正一郎, 上本純平, 灘井章嗣, 梅原俊彦, 松岡建志, 小林達治, 三森麻衣子, ”航空機搭載高分解能合成開口レーダー(Pi-SAR2)を用いた熊本地震の被災状況把握”, 日本地球惑星科学連合大会, 2016.5.
- (2) 灘井章嗣, 上本純平, 梅原俊彦, 児島正一郎, 松岡建志, 小林達治, 久保田実, 浦塚清峰, ”高分解能 SAR Pi-SAR2 で見た熊本地震による被災状況”, 日本リモートセンシング学会学術講演会, 2016.5.
- (3) Toshifumi Moriyama, Yoshio Yamaguchi, Takanori Ishiguro, Jyunpei Uemoto, Toshihiko Umehara, Akit-sugu Nadai, Sho-ichiro Kojima, ” Observation of 2016 Kumamoto Earthquake by Pi-SAR-X2 and its polarimetric calibration ”, 2016 CEOS SAR Workshop, 2016.9.

(10) 平成29年度実施計画の概要 :

平成29年度は、平成28年度に引き続き、Pi-SAR2による地震・火山災害時の被害判読等の技術開発を進めるほか、Pi-SARおよびPi-SAR2のデータ検索システムの公開・運用を進めることにより、災害軽減のための情報の高度化の研究に資する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

情報通信研究機構 電磁波研究所
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 情報通信研究機構広報部
電話 : 042-327-5322
e-mail : publicity@nict.go.jp
URL : <http://www.nict.go.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 浦塚清峰
所属 : 情報通信研究機構 電磁波研究所



図 1：航空機 SAR (Pi-SAR2) で観測した平成 28 年 4 月 17 日の阿蘇大橋付近の画像
ポラリメトリによる疑似カラー化が施されており、植生部分 (緑色) と非植生 (マゼンタ) の識別により、土砂崩れ部分が抽出される。

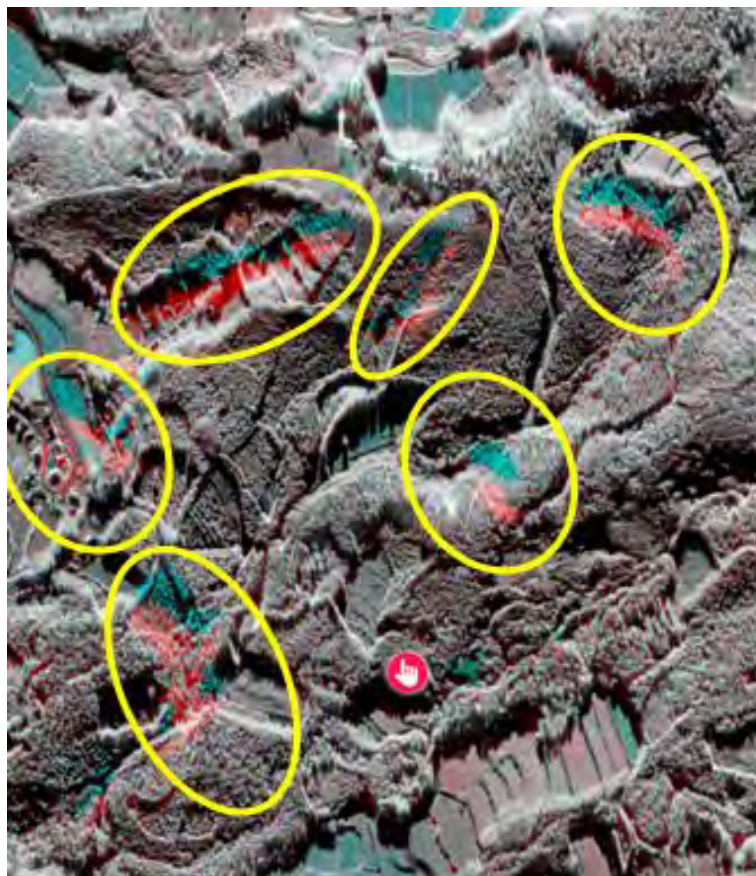


図 2:平成 27 年 12 月に観測したデータとの比較 (信号強度変化) から抽出、特定した被害地域 (楕円で囲んだ部分)

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地質および物質科学的データに基づく低頻度大規模火山現象およびその準備過程の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料, 考古データ, 地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

低頻度大規模火山現象としてカルデラ形成噴火と、大規模山体崩壊現象を研究対象とする。まず過去に発生した大規模カルデラ形成噴火を対象として、主として地質学的手法により、先行する噴火の有無を確認し、その時期と規模・様式・推移等について明らかにする。またカルデラ形成噴火についても、噴火開始から終了までの推移を詳細に復元する。そして物質科学的手法により、マグマ供給系の実体と時間変化を明らかにする。とくに、大規模噴火に至るまでのマグマ蓄積過程や周期性を定量的に理解し、マグマプロセスやその変化について時間軸を明確にして議論する。そして先行噴火からカルデラ形成噴火にかけてのマグマ供給系の生成・移動・蓄積という準備過程、そしてカルデラ形成噴火過程について明らかにすることを目的とする。そのことによりカルデラ形成噴火における、観測可能な前兆現象の種類と規模について議論できる材料を提供することを目指す。大規模山体崩壊現象では、記録の残る国内の過去の山体崩壊事例について、前兆現象および崩壊の推移について再検討する。また火山活動とは関係なく大地震によって誘発される火山体崩壊事例も、それらの分布と発生頻度について検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

○カルデラ形成噴火：基礎的な火山地質学的研究が行われており、形成年代が比較的新しく、異なる規模という観点から、VEI=7 として始良および支笏、VEI=6~7 として鬼界および摩周を対象とする。

これらについて表層地質調査およびボーリング・トレンチにより、カルデラ噴火の推移について、特に最初期の噴火に注目して、層序を確立する。さらにカルデラ形成噴火前の噴火活動について、特に中小規模の噴火の有無を明らかにする。これらに加えて必要に応じて K-Ar および炭素同位体による年代測定も実施する。また海外の事例を文献、あるいは必要に応じて現地調査から再検討する。さらに、規模は小さいが VEI=5 クラスの国内の歴史時代の噴火事例についても先行・前兆現象を中心に検討する。本研究で得られた高精度・高分解能の噴火層序に基づき、分析試料を採取する。噴出物は通常の記載を経た後、XRF により大量の試料について、高精度の主・微量成分組成を求める。さらにその中から選んだ代表的試料について ICP-MS により希土類元素などの微量成分、そして質量分析計により Sr、Nd および Pb 同位体組成を求める。また U-Th 放射非平衡のシステムイクスの検討も行う。また噴出物中の火山ガラスや鉱物組成を EPMA によって求め、FE-SEM により鉱物の組成累帯構造を検討する。これらにより大規模珪長質マグマ系の生成・噴火過程、特に噴火直前のプロセスを、時間軸をもとに明らかにする。

○大規模山体崩壊：研究対象は記録が豊富に残る磐梯山 1888 年と雲仙眉山 1792 年および十勝岳 1926 年である。この中で十勝岳は別課題でも主研究対象であるが、前兆現象の解析は本課題でも実施する。これらの事例について古記録の再検討を行い、崩壊の前兆・先行現象の種類と発生時期、そして崩壊現象の経緯を再検討する。これらは地形解析および現地調査で検証する。また火山噴火とは関係ないが日本海東縁の古い火山体には大規模崩壊地形が多数認められ、これらは日本海東縁を震源とする地震との関連が疑われる。これらは地形解析や現地調査により、崩壊地形の分布・規模を明らかにし、発生頻度も検討を試みる。

平成 26 年度では、まず研究集会を行い現状認識と 5 年間の研究計画について議論する。カルデラ火山については表層地質調査と噴出物採取を行い、ボーリング地点やトレンチ地点の選定を行う。また物質科学的解析を進める。山体崩壊については地形解析を行い、眉山については古記録調査を行う。平成 27 年度では、カルデラ火山については表層地質調査と噴出物採取を継続するとともに、トレンチ調査（始良および鬼界）とボーリング（始良または鬼界）を実施する。噴出物の物質科学的解析は継続し、特に同位体比分析も開始する。山体崩壊について地形解析を続け、眉山では古記録調査に加え現地調査を実施し、磐梯山については古記録調査を開始する。平成 28 年度では、カルデラ火山の表層地質調査と噴出物採取は継続し、ボーリング地点の選定（各カルデラ）を行う。また北海道ではトレンチを実施する。物質科学的解析は継続し、同位体比分析と鉱物の組成累帯構造解析を重点に行う。山体崩壊では磐梯山・眉山の古記録調査のまとめと地質調査を実施し、日本海東縁の火山については地質調査を実施する。また研究集会を開き研究進捗状況を確認する。平成 29 年度は、カルデラ火山においてボーリングおよびトレンチを実施する（対象は研究進捗状況で決定する）。噴出物の物質科学的解析は継続し、同位体比分析と鉱物の組成累帯構造解析を重点に行う。山体崩壊について補充調査を行う。平成 30 年度は両方の課題について補充地質調査および噴出物解析を行う。研究集会を開催し研究のとりまとめを行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

本年度ではカルデラ火山に対する研究では、前年度末に終了した鬼界カルデラでのボーリングコアの解析を行い、特にカルデラ形成後の火山活動について検討した。また摩周火山では約 7600 年前のカルデラ形成噴火について地質調査を行い、さらに平成 29 年度に実施予定のボーリング地点の選定を行った。カルデラ形成噴火噴出物の物質科学的解析は、鬼界アカホヤ噴火および 12 万年前の屈斜路カルデラ IV 噴火 (KpIV) で行うとともに、カルデラ火山が活動する原因や巨大噴火機構を探るための、マンテル含水量の広域変化に関する研究や、マグマ中の揮発性成分に関する研究も実施した。大規模山体崩壊に関する研究では、磐梯山 1888 年の崩壊機構について検討した。

1. カルデラ火山の噴火推移・様式に関する研究

(1) 鬼界カルデラにおける 7.3 ka アカホヤ噴火およびその前後の活動履歴

以下のことが明らかになった。1) 平成 27 年度末に薩摩硫黄島長浜港のカルデラ壁付近で実施した

ボーリングコア (140m) の記載、解析を進めた結果、薩摩硫黄島ではこれまで報告されていない岩石学的特徴を有する溶岩流が地下 140m までの間に複数存在することが明らかになった (図 1, 2) . 溶岩流群は、層序的にはアカホヤ噴火以降の活動による噴出物と考えられるが、詳細な活動時期、マグマの特徴やその変遷などについてはさらなる検討が必要である . 今回のボーリング調査により得られた知見は、鬼界カルデラのマグマシステムの進化を理解する上で重要な制約になるものと考えられる . 2) アカホヤ噴火時のステージ 1 (プリニー式噴火) とステージ 2 (大規模火砕流) の間に時間間隙が存在することを示す地質痕跡、すなわちステージ 1 後半の溶結堆積物が脆性的に破壊され、ステージ 2 の火砕流堆積物に侵食され取り込まれているという構造に注目し、ステージ 1-2 間の時間スケールを見積もる手法について検討した . ステージ 2 開始前に、ステージ 1 火砕流堆積物の溶結、冷却が十分に進行するだけの時間が存在したと考えられることから、具体的には、火砕流堆積物の溶結・冷却モデルを用いて、堆積物定置後の層厚、空隙率、見かけ粘性等物性の時間変化を明らかにすることを試みた . そして、最終的に堆積物が十分冷却して層厚や堆積構造が決まるまでの時間スケールを推定した . その結果、実際に観察される堆積物の特徴 (層厚や空隙率) を再現するためには、堆積後少なくとも 3-7 日以上の上の時間が必要であるという結果が得られた . つまり、ステージ 1 と 2 の間には数日以上ギャップがあったと推定される .

(2) 摩周火山 7.6ka 噴火推移の検討

従来 3 層に区分されていた噴火堆積物を、岩相の違いにより 6 層に細分した (上位から Ma-f1 ~ Ma-f6) (図 3) . この中でも Ma-f3 は、軽石のほかにデイサイト質の角礫を大量に含む、特徴的な火砕流堆積物である . 給源から 10 km 以内の地点では、下位層を著しく削り込み、下位層をブロック状に取り込む場合もある . また、直径数十 cm のデイサイト質角礫が下位層に沈み込むようなインパクト・サグ構造を示す場合もある . デイサイト質角礫は、新鮮で、同時に含まれる軽石と同様の鉱物組み合わせ・化学組成を持つことから本質物質の可能性もある . これらデイサイト質角礫を定方位サンプリングし、段階熱消磁により古地磁気測定を行った結果、高温成分の磁化方位は揃わず、高温で定置した証拠は認められなかった . また、インパクト・サグ構造の方向と角度を予察的に画像解析した結果、おおむね給源から弾道軌道を描いて着弾したと考えて矛盾ないことが分かった . 今後詳しい解析が必要であるが、デイサイト質角礫は、山頂部に既存していた溶岩ドームが、火砕流発生時に破壊されたものである可能性がある .

2. カルデラ火山のマグマ系に関する物質科学的研究

(1) カルデラ形成噴火のマグマ供給系の構造と進化プロセス

鬼界-アカホヤ噴火と屈斜路火山 KpIV のマグマ供給系の構造とそのプロセスについて検討した結果、以下のことが明らかとなった (図 4) . 1) 両噴火ともそのマグマ供給系は、大きく珪長質マグマ系とマフィックマグマ系に大別される . 2) このうち珪長質マグマ系では、起源の異なる流紋岩質マグマとデイサイト質マグマが混合し、噴火前には珪長質成層マグマ溜りを形成していた . これは噴火前の長期にわたるプロセスであり、観測可能な準備過程である可能性を指摘できる . 3) マフィックマグマは鬼界-アカホヤ噴火では 2 種、屈斜路噴火では 3 種が存在し、カルデラ形成噴火の間にそれらが順次、珪長質成層マグマ溜りに貫入していた . 4) このマフィックマグマの不連続的な貫入が、カルデラ噴火の引き金となるだけでなく、噴火様式の変化や噴火休止期に対応している可能性がある .

(2) カルデラ形成噴火に先行する噴火の物質科学的研究

アカホヤ噴火に先行する長浜溶岩は、アカホヤ噴火の流紋岩質マグマと Sr-Nd-Pb 同位体を含めて酷似するが、FeO/MgO 比や Y 含有量で区別できた . また KpIV に先行する噴火 (Pre-KpIV) も KpIV と類似した岩石学的性質を示すが、斑晶鉱物組成で区別できた . これらのことからカルデラ形成噴火に先行した噴火では、主要なマグマ溜りとは別に独立したマグマ溜りが存在し、そこから先行噴火が発生したと考えられる .

(3) 島弧会合部における大規模噴火の成因

北海道南西部は、東北本州弧と千島弧の会合部にあたり、支笏・洞爺・クッタラといった巨大カルデラが存在する . そこで島弧会合部であるという特殊なテクトニック場と活発な火成活動との関連性に

ついて探るため、有珠山の玄武岩を対象にマグマ生成条件を推定し、マンツルの温度・含水量条件について、東北本州弧との比較検討を行った。有珠火山の初生マグマは温度 1275 °C、圧力 1.5 GPa、含水量 0.9 wt.% の条件で生成したと推定され、東北本州弧の主要部に比べ、温度・含水量がともに高いことが明らかになった(図 5)。会合部のマンツル温度が高い要因としては、低温であるプレートが屈曲することにより、周辺部よりもウェッジマンツルが冷やされにくくなること、そして含水量が高い要因としては、プレートの屈曲部における亀裂の発達に伴い、スラブ流体がマンツルに供給されやすくなっていることを反映しているのかもしれない。以上のことから、会合部のマンツルが相対的に高温・高含水量であることによってマグマが生成されやすく、そのことが巨大カルデラの形成を含めた活発な火成活動の要因となっている可能性が示唆される。

(4) 分析手法の開発

今年度は斑晶鉱物中のメルト包有物の揮発性成分手法の開発と、既に関した U-Th 放射非平衡測定を、東北日本弧火山岩に関して予察的検討を行った。また見かけ密度測定のために、ストラクチャライトスキャナーサンプルを導入して体積測定法を確立した。メルト包有物の揮発性成分分析では、厚さ 30 μm の両面研磨薄片を大量生産する必要があり、技術的なハードルが高かった。今回、メルト包有物を簡単に分析する方法として、“スペクトル差分法”、即ち、メルト包有物 + 斑晶の赤外透過スペクトルを取得したのち、斑晶の寄与を差し引く方法を、珪長質巨大噴火に対応するため、石英など SiO₂ に富む鉱物で検討した。その結果、H₂O については誤差 ± 1wt% で含水量を見積もることに成功した。予察的分析として、主成分・微量元素濃度、および Sr・Nd・Pb・Hf 同位体組成が測定済みである岩手火山玄武岩 3 試料、および三の目湯玄武岩 5 試料を対象に、U-Th 放射非平衡の分析を行い、三の目湯で Th に富む放射非平衡が確認できた。

2. 大規模山体崩壊に関する研究

野外調査と流れ山を構成する岩石種の検討から、磐梯山 1888 年山体崩壊の崩壊推移と堆積物との関係を検討した。その結果、流れ山の(1888 年想定爆発)火口からの距離と流れ山を構成している礫種の比率が対応して変化しており、流走距離の短い流れ山は小磐梯山頂を構成している礫を多く含んでいることがわかった(図 6)。このことから 1888 年山体崩壊は、Sekiya and Kikuchi(1890)の主張した 1 回の大崩壊ではなく、関口ほか(1995)の主張するような多段階の崩壊の結果を反映している、と解釈できる。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Amma-Miyasaka, M., M. Nakagawa, S. Uesawa, and D. Miura, 2016, Stratigraphy and petrology of preceding eruptions of Shikotsu caldera-forming eruptions, southwestern Hokkaido, Japan. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P9
- Coussens, M., D. Wall-Palmer, P.J. Talling, S.F.L. Watt, M. Cassidy, M. Jutzeler, T. Gernon, M. Clare, M.R. Palmer, S. Hatter, G. Boudon, D. Endo, A. Fujinawa, R. Hatfield, M. Hornbach, O. Ishizuka, K. Kataoka, A. Le Friant, F. Maeno, M. Manga, M. McCanta, and A. Stinton, 2016, The relationship between eruptive activity, flank collapse, and sea level at volcanic islands: A long-term (>1 Ma) record offshore Montserrat, Lesser Antilles. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 17, doi:10.1002/2015GC006053.
- Furukawa, R., A. Takada, O. Prambada, H.E. Wibowo, and M. Nakagawa, 2016, Evaluation of future large eruption from the dormant large stratovolcano: case study of Sundoro volcano, central Java, Indonesia. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P10.
- Hasegawa, T., H. Hasegawa, and T. Kobayashi, 2016, Eruption sequence of BC 5,600 Mashu caldera-forming eruption. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P36.
- Hasegawa, T., A. Matsumoto, and M. Nakagawa, 2016, Evolution of the 120 ka caldera-forming eruption of Kutcharo volcano, eastern Hokkaido, Japan: Geologic and petrologic evidence for multiple vent systems and rapid generation of pyroclastic flow. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 321, 58-72.
- Hasegawa, T., N. Mochizuki, and N. Oiwane, 2016 Duration of the caldera-forming eruptions of Kikai

- volcano, Japan: preliminary estimation from paleomagnetic directions and secular variation. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P37.
- Hasegawa, T. and M. Nakagawa, 2016, Large scale explosive eruptions of Akan volcano, eastern Hokkaido, Japan: A geological and petrological case study for establishing tephro-stratigraphy and -chronology around a caldera cluster Quaternary International, 397, 39-51.
- Kobayashi, K., M. Nakagawa, A. Matsumoto, and F. Maeno, 2016, Petrological study of the 7.3 ka Kikai caldera-forming eruption (K-Ah), southern Kyushu, Japan: existence of multiple silicic magmas and their interaction. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P16.
- Kuritani, T. and M. Nakagawa, 2016, Origin of ultra rear-arc magmatism at Rishiri Volcano, Kuril Arc, Geochemistry, Geophysics, Geosystems 17, 4032-4050, doi:10.1002/2016GC006594.
- Kuritani, T., M. Tanaka, T. Yokoyama, M. Nakagawa, and A. Matsumoto, 2016, Intensive hydration of the wedge mantle at the Kuril arc-NE Japan arc junction: Implications from mafic lavas from Usu Volcano, northern Japan. Journal of Petrology, 57, 1223-1240.
- Maeno, F., 2016, On the time interval between initial plinian and climactic pyroclastic flow phases during a caldera-forming eruption at Kikai caldera, Japan. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P32.
- Maeno, F., S. Nakada, and T. Kaneko, 2016, Morphological evolution of a new volcanic islet sustained by compound lava flows. Geology, 44, 259-262, doi:10.1130/G37461.1.
- 松本亜希子・中川光弘・井口正人, 2016, 火山灰中の本質ガラスの石基組織からみる桜島火山 2012 年 7 月 24 日南岳山頂火口噴火 特にマイクロライトの特徴について 火山, 61, 545-558.
- 増淵佳子・石崎泰男・白井智仁・松本亜希子・宮坂瑞穂・中川光弘, 2016, 岩石学的にみた沼沢火山におけるマグマ溜まりの長期的進化とカルデラ形成噴火の準備過程. 地質学雑誌, 122, 533-550.
- Miyamoto, H., T. Niihara, T. Kuritani, P. Hong, J. Dohm, and S. Sugita, 2016, Cluster analysis on the bulk elemental compositions of Antarctic stony meteorites. Meteoritics & Planetary Science, 51, 906-919, DOI: 10.1111/maps.12634.
- Nagai, Y., and T. Yokoyama, 2016, Molybdenum isotope analysis by negative thermal ionization mass spectrometry (N-TIMS): Effects of oxygen isotopic compositions. Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 31, 948-960.
- Nakada, S., T. Yamamoto, and F. Maeno, 2016, Miocene-Holocene volcanism. In Moreno, T. et al (eds.) "The Geology of Japan," Geological Society of London, 273-308.
- Nakagawa, M., M. Amma-Miyasaka, A. Matsumoto, J. Kitagawa, and C. Tomijima, 2016, Petrology and geochemistry of 40ka caldera-forming eruption of Shikotsu volcano, Hokkaido, Japan: Structure and growth processes of large magma reservoir system by multiple silicic and mafic magmas at a caldera volcano. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P53.
- Prambada, O., Y. Arakawa, K. Ikehata, R. Furukawa, A. Takada, H.E. Wibowo, M. Nakagawa, and M.N. Kartadinata, 2016, Eruptive history of Sundoro volcano, Central Java, Indonesia since 34 ka. Bull. Volcanol., 78, 81, doi: 10.1007/s00445-016-1079-3.
- Razzhigaeva, N. G., A. Matsumoto, and M. Nakagawa, 2016, Age, source and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. Quaternary International, 397, 63-78.
- 鈴木由希, 2016, 噴火時のマグマプロセスを噴出物組織から探る手法 過去 10 年間の研究進展のレビュー, 火山, 61, 367-384.
- Tomijima, C. and M. Nakagawa, 2016, Geological study on caldera-forming eruption of Shikotsu volcano, south-western Hokkaido: Special reference to vent formation process. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P46.
- Uesawa, S., M. Nakagawa, and A. Umetsu, 2016, Explosive eruptive activity and temporal magmatic changes

at Yotei Volcano during the last 50,000 years, southwest Hokkaido, Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 27-44.

Uesawa, S., M. Nakagawa, and A. Umetsu, 2016, A finding of the source volcano of Kimobetsu pyroclastic flow deposits. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P45.

Yokoyama, T., Y. Nagai, Y. Hinohara, and T. Mori, (in press) Investigating the influence of nonspectral matrix effects for determination 22 trace elements in rock samples by ICP-QMS. Geostandards and Geoanalytical Research.

Yoshimura, S., 2015, Diffusive fractionation of H₂O and CO₂ during magma degassing. Chemical Geology, 411, 172-181. (H27 年度で報告もれ)

吉村俊平, 2016, 火山噴火の素過程に関する実験的・理論的研究. 火山, 61, 605-613.

Yoshimura, S. and M. Nakamura, 2016, CO₂-rich advective fluid flow in caldera-forming magma chambers. The 6th Workshop on Collapse Caldera, Program and Abstracts, P20.

Yoshimura, S., M. Nakamura, and H. Yurimoto, in press, Presence of carbonate ions in high-SiO₂ rhyolite observed in fluid/melt equilibrium experiments, Geochemical Journal.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要:

カルデラ火山の噴火推移・様式に関する研究では、まず鬼界カルデラにおいては平成 28 年度に進めたボーリングコアの解析をさらに進め、噴火履歴やマグマシステムの進化を地質、物質科学的により詳しく検討する。一方、アカホヤ噴火時のステージ 1(プリニー式噴火)とステージ 2(大規模火砕流)の間の時間スケールに関する研究については、平成 28 年度の検討事項を踏まえ、火砕流堆積物の溶結・冷却プロセス推定のためのモデルや解析結果の妥当性について考察を進めていく。また同時に、鬼界カルデラおよび薩摩・大隅半島での地表調査を継続して実施し、アカホヤ噴火堆積物の地質学的データの分析、解析を進め、噴火推移について考察する。また鬼界カルデラ噴火におけるマグマ溜まりの過剰圧や、火道-火口システムの構造の変化を、カルデラ噴火噴出物の結晶・発泡組織を解析することで明らかにする。摩周カルデラにおいては 150m 程度のボーリングを行い、過去 1 万年の噴火履歴と、7000 年前のカルデラ噴火推移の詳細を明らかにする。

物質科学的研究では、鬼界-アカホヤ噴火および KpIV 噴火について、斑晶鉱物の組成累帯構造を検討し、噴火準備の時間スケールを検討する。また摩周火山についてもボーリングコアと地表踏査によるサンプルについて物質科学的データを収集し、特にカルデラ形成噴火のマグマ系の構造を明らかにする。また U-Th 非平衡によるマグマ準備過程の時間スケールの検討について、まず支笏火山を対象として検討を行う。メルトインクルージョンの CO₂ の定量法について確立し、実際に支笏火山について検討を開始する。

低頻度大規模火山現象である山体崩壊について、1888 年磐梯山の噴火の文書記録による推移の情報と、岩屑なだれの構成岩石の検討から崩壊過程を再検討する。1792 年雲仙岳噴火と眉山崩壊の過程については、史料の記録者と信頼度を確認して、文書記録の整理から崩壊過程推移を再構築する。さらに活動期間中、複数の観測地で記録が残されているため、地震の規模(有感範囲・強度)・震源(推定)・頻度と、噴火前-噴火開始後-眉山崩壊に至る時間経過との対応も精査する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

北海道大学大学院理学研究院 中川光弘・栗谷 豪・松本亜希子

秋田大学大学院工学資源学研究科 大場 司

東京大学地震研究所 前野 深・中田節也

東京工業大学理工学研究科 横山哲也

京都大学総合人間学部 金子克哉

鹿児島大学理工学研究科 小林哲夫

他機関との共同研究の有無: 有

山形大学理学部 伴 雅雄
 茨城大学理学部 長谷川健
 千葉大学大学院理学研究科 津久井雅志
 神戸大学大学院理学研究科 鈴木桂子
 福岡大学理学部 奥野 充
 熊本大学 宮縁育夫(教育学部)・長谷中利昭(自然科学研究科)
 産総研 古川竜太

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院
 電話：011-716-2111
 e-mail：mnakagawa@mail.sci.hokudai.ac.jp
 URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/eps/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：中川光弘
 所属：北海道大学大学院理学研究院

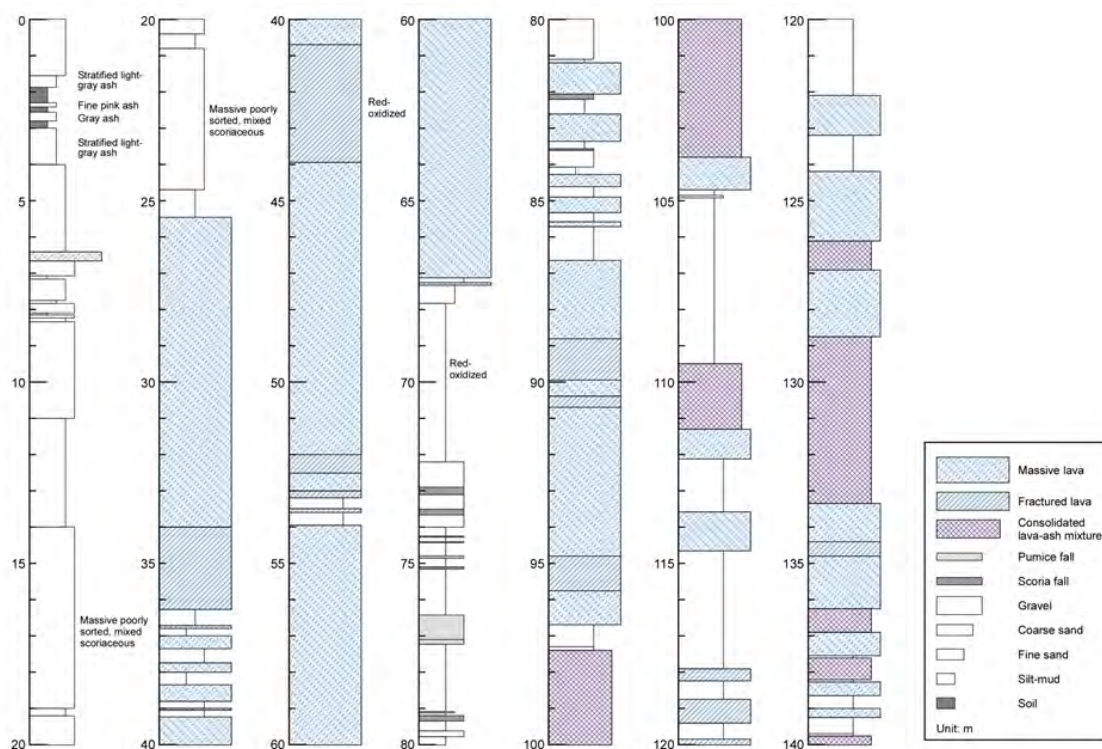


図1. 薩摩硫黄島ボーリングコアの柱状図.

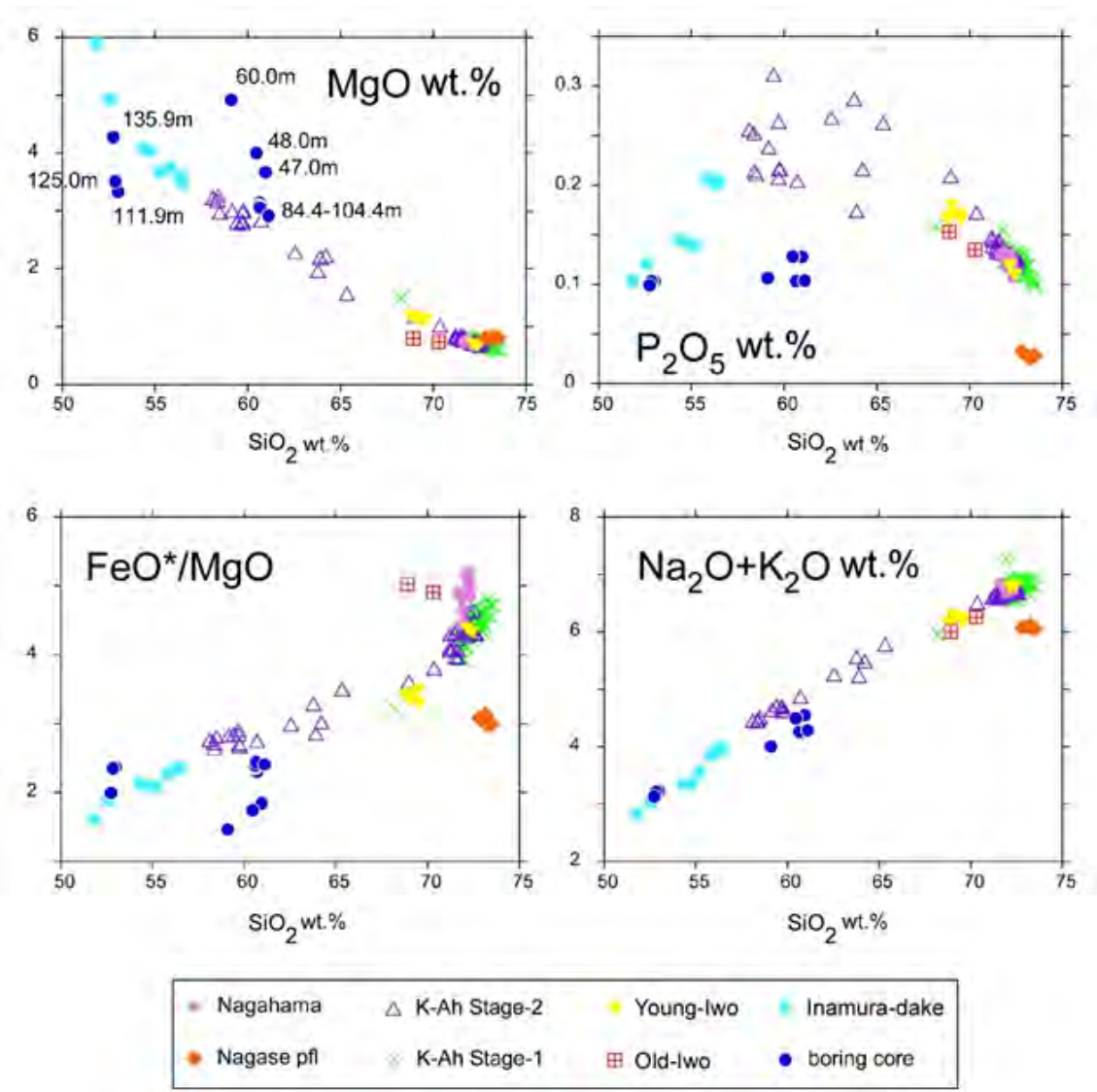


図 2 . 薩摩硫黄島ボーリングコアの代表的溶岩試料の全岩化学組成 .

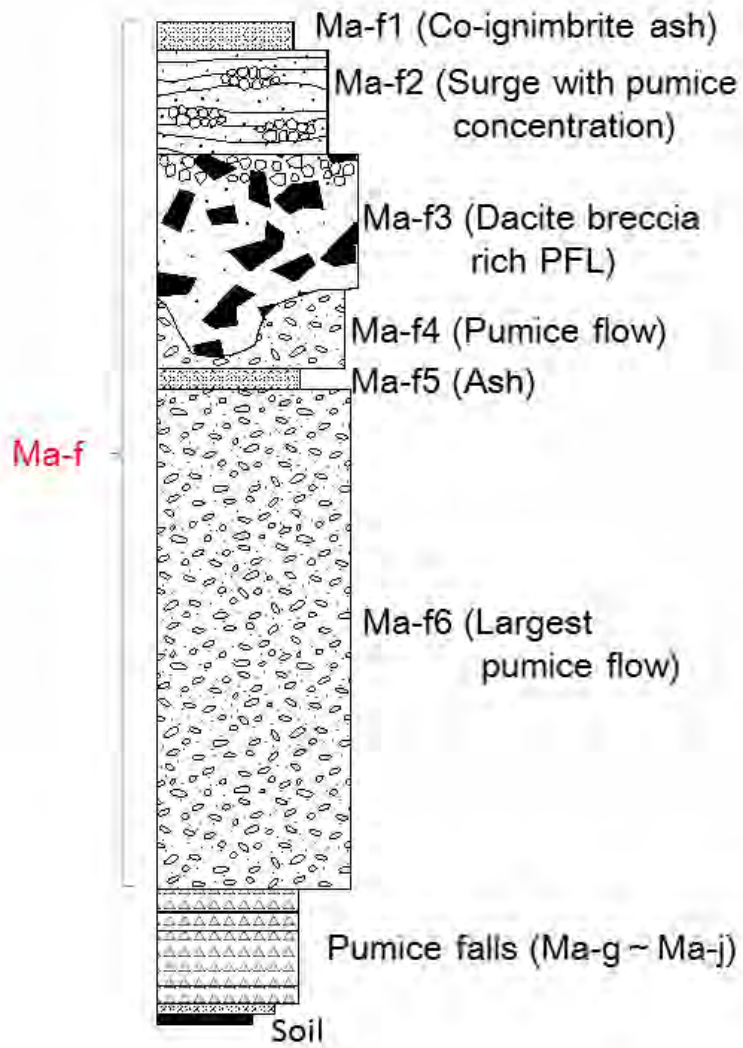


図3 . Ma-fの総合柱状図 . 従来は Ma-f2 から Ma-f5 が未記載 , あるいは混乱していた .

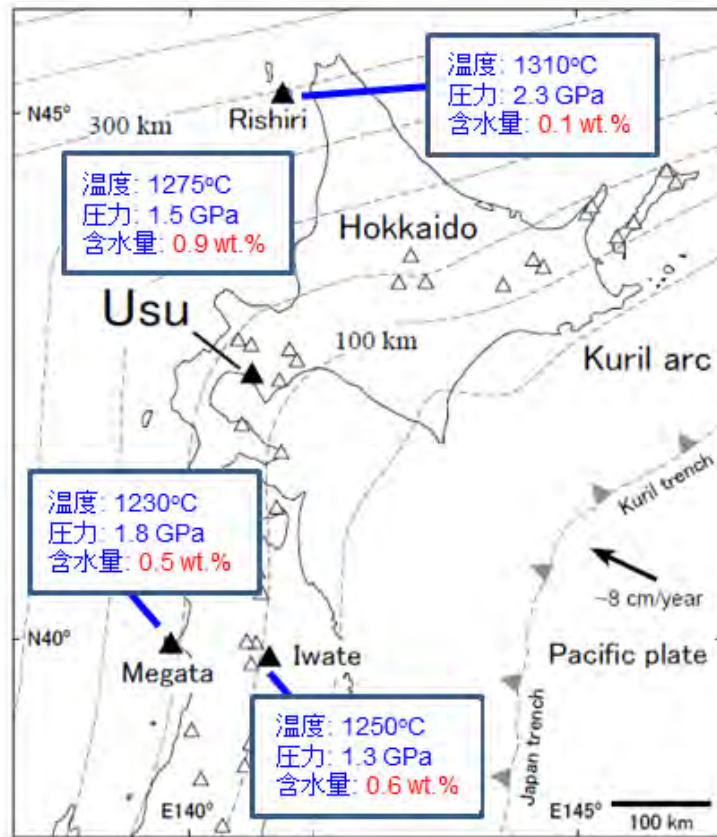
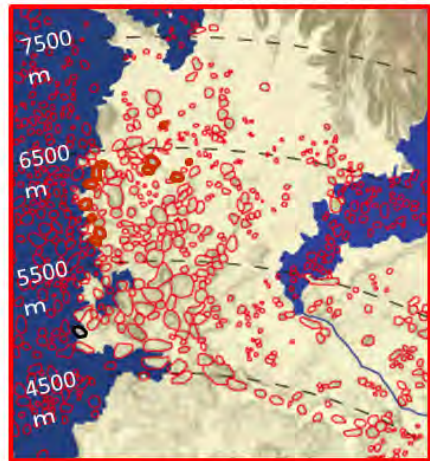


図5. 東北日本弧 - 千島弧会合部における初生マグマの温度・圧力・含水量の特徴.

流れ山の流走距離と 構成礫種比率の変化



流れ山の分布図

- Oxidized pyroxene
- Coloreless intersertal
- Rusty colored intersertal
- Scoriacious
- inhit
- Hyaloophitic
- Hyalopilitic

礫種区分の組織

推定火口からの距離 (m)

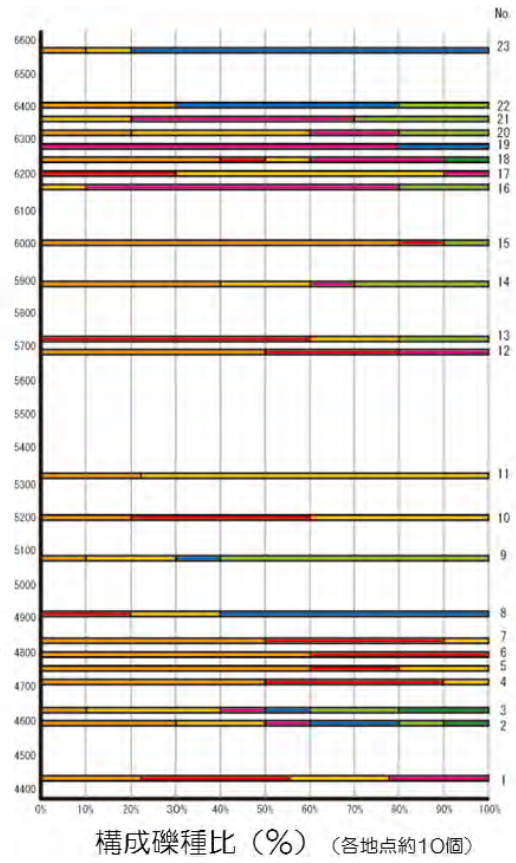


図 6 . 磐梯山 1888 年山体崩壊の流れ山の流走距離と構成礫種比率の変化 .

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

北海道沖低頻度大規模地震の総合的理解とそのモニタリングへの基礎的研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

北海道太平洋沖では 2011 年東北地方太平洋沖巨大地震が発生する以前から太平洋沿岸で多くの津波堆積物調査が実施され、過去に災害を発生させてきた歴史津波より巨大な津波を発生させた低頻度大規模地震が 17 世紀前半に発生していたことが明らかになってきた。さらに、17 世紀前半に発生した低頻度大規模地震の際に、2011 年東北地方太平洋沖巨大地震と同じように海溝近傍のプレート境界で 20 m 以上の非常に大きな滑りが発生していた事も明らかになっている。

本研究課題では、北海道近傍で発生する低頻度大規模地震の発生様式を理解する調査研究を実施し、さらにそれら大規模地震を発生させるプレート境界の発生場を理解するための観測研究を実施し、最後にプレート境界状態のモニタリングのための手法開発のための基礎的研究を実施する。多くの研究項目を横断した研究計画となっており、地質学データに基づく低頻度大規模地震の発生様式の解明が

ら研究成果をモニタリング手法の開発につなげるまで低頻度大規模地震の予測を現実に近づけるための総合的研究を実施することを目的とする。

1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

17世紀前半以前の津波堆積物イベントに対し、多地点で面的津波堆積物調査を実施する。これまでの調査結果も総合的に利用し、津波遡上数値計算を実施することで断層モデルを推定し、低頻度大規模地震の発生様式の多様性を解明する。

2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

海底構造探査により海溝近傍の構造及び海底地形を明らかにし、大滑りの発生場を理解する。研究成果は海溝近傍プレート境界の滑り予測のための情報を提供する。

北海道太平洋沖の低頻度大規模地震の震源域で海底地震調査観測を実施し、プレート境界で発生した微小地震の観測波形を解析し、微小地震の応力降下量の面的分布を得る。その応力降下量分布と大地震の大滑り域との関連を解明し、巨大地震の発生場を理解する。

低頻度大規模地震の履歴や発生様式が解明されても、広範囲で長期にわたる巨大地震の影響が評価できなければ、将来の低頻度大規模地震を予測することはできない。そこで、極東ロシアでのGPS地殻変動観測および地震観測により、2011年東北地方太平洋沖地震後の広域応力蓄積過程を解明し、マントル粘弾性の影響やプレート運動に与える影響を評価する。

3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

低頻度大規模地震の履歴と発生様式の多様性が理解され、その発生場が理解できれば、それらの情報を地震発生予測に用いるため、プレート境界の固着をモニタリングする手法を開発する必要がある。現実には本研究課題は上記(1)、(2)の2つの課題の研究成果を受けて開発するものである。プレート境界で発生する微小地震活動や微小地震の応力降下量分布の時間変化を捕らえることでプレート境界の状態を把握し、モニタリングする手法を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

平成26年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

北海道太平洋沿岸の面的津波堆積物分布を得るための現地調査を実施する。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

過去のプレート境界での微小地震の観測波形を用いて応力降下量の推定手法を確立する。ウラジオストックを中心とした極東ロシアにGPS観測網を維持、強化し、2011年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響をモデル化への基礎研究を実施する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発の検討

平成27年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続する。過去の津波堆積物分析結果を津波遡上数値計算によって再現することで低頻度大規模地震の震源過程推定を試みる。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

北海道太平洋沖で自己浮上式海底地震計を用いた微小地震観測を実施し微小地震の応力降下量分布の推定を試みる。極東ロシアでのGPS観測網を維持、強化し、2011年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響をモデル化への基礎研究を継続する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発の検討。

平成28年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続する。調査で得られた試料の粒度分析・珪藻分析・火山灰認定等の分析を実施する。津波堆積物分析結果を津波遡上数値計算によって再現することで過去の低頻度大規模地震の震源過程を推定する。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

プレート境界での微小地震による観測地震波形を用いた応力降下量分布の推定を継続する。極東ロシアでの GPS 観測網を維持、強化し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響のモデル化を実施する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

平成 29 年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続。津波堆積物調査で得られた試料の分析を実施し、津波堆積物分析結果から過去の低頻度大規模地震の震源過程推定を高度化。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

北海道太平洋沖の千島海溝の海溝軸近傍で海溝軸に平行な側線で海底構造探査を実施し、低頻度大規模地震の大滑り域の付加体構造やプレート境界近傍の構造を明らかにする。プレート境界での微小地震による観測地震波形を用いた応力降下量分布の推定を継続する。極東ロシアでの GPS 観測網を維持、強化し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響のモデル化を実施する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

平成 30 年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続する。調査で得られた試料の分析を実施し、津波堆積物分析結果を津波遡上数値計算によって再現することで過去の低頻度大規模地震の震源過程を推定し低頻度大規模地震の多様性を解明する。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

海底構造調査結果を分析し、2011 年東北地方太平洋沖地震の大滑り域の構造との比較を行い、構造と低頻度大規模地震の震源過程の多様性との関連を解明する。面的応力降下量分布を得、大地震の大滑り域との関連を解明し、モニタリングにつなげる。極東ロシアでの GPS 観測網を維持、強化し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響をモデル化し、北海道沖のプレート運動の挙動の把握に適應する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

・微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

海溝型巨大地震の履歴を知るためには、津波堆積物の分布や層序の情報に加え、地震に伴う地殻変動パターンを抽出することも重要である。そこで、北海道十勝地域を流れる当縁川周辺の湿原に側線を設けて柱状試料を採取し、イベント堆積物の記載と珪藻化石の分析を行った。調査地域の標高は 1.3 m ~ 7.5 m であり、17 世紀の津波堆積物とみなされる砂層 / 泥層は内陸薄層化を示しながら 1.4 km 内陸まで分布している (図 1)。泥炭層中の珪藻には淡水生種および淡水-汽水生種が卓越し、砂層及び泥層からは汽水-海水生種と海生種が含まれる。また、珪藻群集からは、砂層堆積前には淡水生種が減少し淡水-汽水生種が増加する傾向が、砂層の堆積後には淡水生種が増加する傾向がそれぞれ認められた (図 2)。これは、砂層の堆積前にこの地域が徐々に沈降して相対的に塩分が上昇したこと、砂層の堆積後に隆起して塩分が低下したことを示唆する (図 2)。この地殻変動パターンは、道東で明らかにされた 17 世紀超巨大地震に伴う変動 (Sawai et al. 2004) に近い。

北海道沖 17 世紀地震ではないかとの疑いがある、1611 年慶長三陸津波地震の震源モデルを全ての信頼できる歴史史料を説明することで推定した。三陸沖の長さ 250 km の断層が動いたとすると説明できることが分かった。2011 年東北地方太平洋沖地震で大きくすべった場所は 1611 年慶長三陸津波地震によりすべっていた可能性を示唆する。

低頻度大規模地震の発生場の理解

1) ロシア極東での GSNN 観測による発生場の広域理解

2011 年東北地方太平洋沖地震の広域余効変動のデータから日本列島周辺域の上部マントル粘弾性パラメータを推定し、広域地殻変動場に海溝型超巨大地震が与える時空間変動を明らかにするために 2016 年までの地震発生後 5 年間の北東アジア地域の IGS の GNSS データを予察的に解析した。多くの観測点で余効変動が検出され、半数以上の観測点では地震時変動を上回っており一部では 2 倍を超えていた。粘弾性パラメータの推定を試験的に実施したところ 8×10^{17} Pas 付近となり海溝型超巨大地震が長期間にわたり北東アジアの広域地殻変動場に影響を与える可能性が示唆された(図 3)。

2) 海陸地震観測データ統合処理による速度構造推定

- 日高衝突帯の海域延長部の巨大地震発生場の理解 -

平成 11~13 年に北海道・日高山脈付近の千島弧と東北日本弧との衝突帯で行われた大学合同の陸上稠密地震観測と、平成 11 年と平成 12 年に北海道南方沖で気象庁と共同で行われた海底地震観測データを、地震波トモグラフィ法で再解析することによって日高衝突帯からその海域延長部に到る領域の P 波および S 波速度構造を推定した。深さ 25km の水平断面(図 4)では、2003 年十勝沖地震(M8.0)の本震時にすべりの大きかった領域(アスペリティ)で P 波速度は高速度だが、S 波速度が低速度になっている。A-B の鉛直断面(図 5)で見ると、アスペリティの上盤側が高 V_p/V_s になっていることがわかる。

3) 根室沖での海底地震観測から得られた地震活動

根室沖では、プレート境界型大地震の発生に伴う微小地震活動の時空間的な変動を捉えることを目的として、文部科学省委託事業によって海洋研究開発機構が東北大学、北海道大学と共同で、1973 年根室半島沖地震(M7.4)のアスペリティとその周辺に海底地震計 10 台を設置し、平成 20 年 11 月から平成 24 年 5 月まで自然地震観測を行った。全観測期間(2008 年 11 月 9 日から 2012 年 5 月 30 日まで)の震央分布を図 3 に示す。観測期間全体を通じて根室半島沖アスペリティでは活動が静穏であり、地震は主に水深が 2000m より浅い陸寄りの海域で発生している。根室半島沖アスペリティの南西側には活動が活発な領域が見られる。図 6 の長方形内の震源を Nakanishi et al. (2004) による P 波速度構造に投影した鉛直断面を図 7 に示す。地震は主にプレート境界付近で発生しているが、上盤側でも発生している。これらの特徴は 2006 年に実施された海底地震観測(篠原・他、2009)や本観測終了後の気象庁一元化震源でも変わらず、根室沖アスペリティではプレート間の固着が続いていると考えられる。

プレート境界状態のモニタリング手法開発

地震活動の時間変化をモニタリングし、M9 クラスの巨大地震の発生を検知する手法の開発を目指すためには、世界の巨大地震発生域の地震活動について解析を実施する必要がある。ISC の地震カタログから実体波マグニチュード 5.0 以上、深さ 60km 以浅の地震を選択し、Zhuang et al. (2002) の方法でデクラスタリング処理した後、ZMAP で地震活動の長期変化を解析した。今年度、2001 年ペルー巨大地震 $M_w 8.4$ と 2010 年チリ巨大地震 $M_w 8.8$ 震源域近傍での地震活動を解析した。2001 年ペルー巨大地震前に 11 年間の静穏化が発生しその直後に巨大地震が発生したことが分かった(図 8 左)。また 2010 年チリ巨大地震前には約 13.8 年間の静穏化の後、5.8 年間は通常地震活動に戻り巨大地震の発生に至ったことが分かった(図 8 右)。これまでの静穏化の結果を総合すると、 $M_w 8.8$ 以上の地震は、静穏化が 10 年程度続いたのち、地震活動が復活して 10 年程度経過すると巨大地震が発生することが分かった。上記の静穏化は 1952 年カムチャツカ巨大地震、1957 年アリューシャン巨大地震、1962 年アラスカ巨大地震、2004 年スマトラ巨大地震、2011 年東北地方太平洋沖巨大地震でも見られた。また、M8 クラスの巨大地震にも、10 年程度の静穏化が起こる場合があり、その場合は静穏化直後に巨大地震にいたっている。例えば 1994 年北海道東方沖地震や 2003 年十勝沖巨大地震が同様の地震活動をた

どった。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Ioki, K., and Y. Tanioka, Rupture Process of the 1969 and 1975 Kurile Earthquakes Estimated from Tsunami Waveform Analyses, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-016-1402-0, 2016
- Gerasimenko M. D., N. V. Shestakov, A. G. Koromuets, G. N. Gerasimov, H. Takahashi, D. V. Svisoev, G. V. Nechaev, Vertical crustal movement of the south of Primorsky Krai and their relationship with the subduction zone geodynamic processes, *Geodesy and Cartography*, 33-37, 2016.
- 村井芳夫・勝俣 啓・高波鐵夫・渡邊智毅・山品匡史・長 郁夫・田中昌之・東 龍介, 海底および陸上稠密地震観測から得られた北海道南部の P 波および S 波速度構造, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS26-01, 2016
- Mako Ohzono, Hiroaki Takahashi, Nikolay V. Shestakov, Guojie Meng, and Mikhail. D. Gerasimenko ESTIMATION OF THE LONG-TERM EFFECT OF VISCOELASTIC RELAXATION INDUCED BY THE 2011 TOHOKU EARTHQUAKE AND OTHER INTERPLATE EARTHQUAKES AROUND NORTH-EASTERN ASIA, 9th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKASP 2016), Fairbanks, Akaska, SCIENTIFIC PROGRAM AND ABSTRACT, 25, 2016.
- Nikolay Shestakov, Grigory Nechaev, Nikolay Titkov, Mikhail Gerasimenko, Victor Bykov, Victor Pupatenko, Sergey Serovetnikov, Alexander Prytkov, Nikolay Vasilenko, Dmitry Sysoev, Alexey Sorokin, Hiroaki Takahashi and Mako Ohzono HAVE THE POSTSEISMIC MOTIONS DUE TO THE MAY 24, 2013 Mw 8.3 OKHOTSK DEEP FOCUS EARTHQUAKE BEEN DISCOVERED BY THE RUSSIAN FAR EAST GNSS NETWORKS?, 9th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKASP 2016), Fairbanks, Akaska, SCIENTIFIC PROGRAM AND ABSTRACT, 65, 2016.
- 村井芳夫・日野亮太・伊藤喜宏・鈴木秀市・金田義行・東 龍介, 長期海底地震観測から得られた北海道・根室沖の大地震発生域周辺の地震活動, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, 2016 年 10 月, S09-P10, 2016
- Takahashi, H., M. Ohzono, N. Shestakov, A. Prytkov, N. Vasilenko, Plate convergence, slow slip, and seismic activity along eastern margin of Amurian plate, AOGS2016, Beijing, SE08-D2-PM1-306B(L3N)-007, 02/08/2016. Ohzono, M., H. Takahashi, Estimation of the long-term effect of viscoelastic relaxation around northeast Asia, AOGS2016, Beijing, SE08-D2-PM1-306B(L3N)-005, 02/08/2016.
- Ohzono, M., H. Takahashi, Estimation of the long-term effect of viscoelastic relaxation around northeast Asia, AOGS2016, Beijing, SE08-D2-PM1-306B(L3N)-005, 02/08/2016.
- Shestakov, N., G. Meng, W. Wu, M. Gerasimenko, M. Ohzono, H. Takahashi, Observation and modeling of the far-field postseismic displacements caused by the great 2011 Tohoku earthquake, AOGS2016, Beijing, SE08-D2-PM1-306B(L3N)-004, 02/08/2016.
- 大園真子, 高橋浩晃, N. V. シェスタコフ, 孟国杰, M. D. ケ?ラシメンコ, 北東アシ?ア地域における日本周辺の大地震に伴う長期余効変動の影響の推定, 日本地震学会 2016 年秋季大会, S03-05, 2016 年 10 月 5 日, 名古屋国際会議場.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続。津波堆積物調査で得られた試料の分析を実施し、津波堆積物分析結果から過去の低頻度大規模地震の震源過程推定を高度化。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

これまでの観測データを解析し、低頻度大規模地震の大滑り域の付加体構造やプレート境界近傍の構造を明らかにする。プレート境界での微小地震による観測地震波形を用いた応力降下量分布の推定を継続する。極東ロシアでの GPS 観測網を維持、強化し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な

影響のモデル化を実施する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

谷岡勇市郎・高橋浩晃・村井芳夫・勝俣啓・西村裕一・大園真子・椎名高裕・千葉崇

(北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター)

他機関との共同研究の有無 : 有

篠原雅尚・望月公廣 (東京大学地震研究所)・日野亮太・東龍介 (東北大学)・山田卓司 (茨城大学)・
海洋研究開発機構 (3 名)・ロシアサハリン海洋地球物理研究所 (3 名)・ウラジオストックロシア極
東大学 (2 名)・ハバロフスク地球物理研究所 (2 名)

参加機関 東京大学地震研究所、東北大学、茨城大学、海洋研究開発機構、ロシアサハリン海洋地
球物理研究所、ウラジオストックロシア極東大学、ハバロフスク地球物理研究所

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話 : 011-706-3591

e-mail : isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL : <http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 谷岡勇市郎

所属 : 北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター

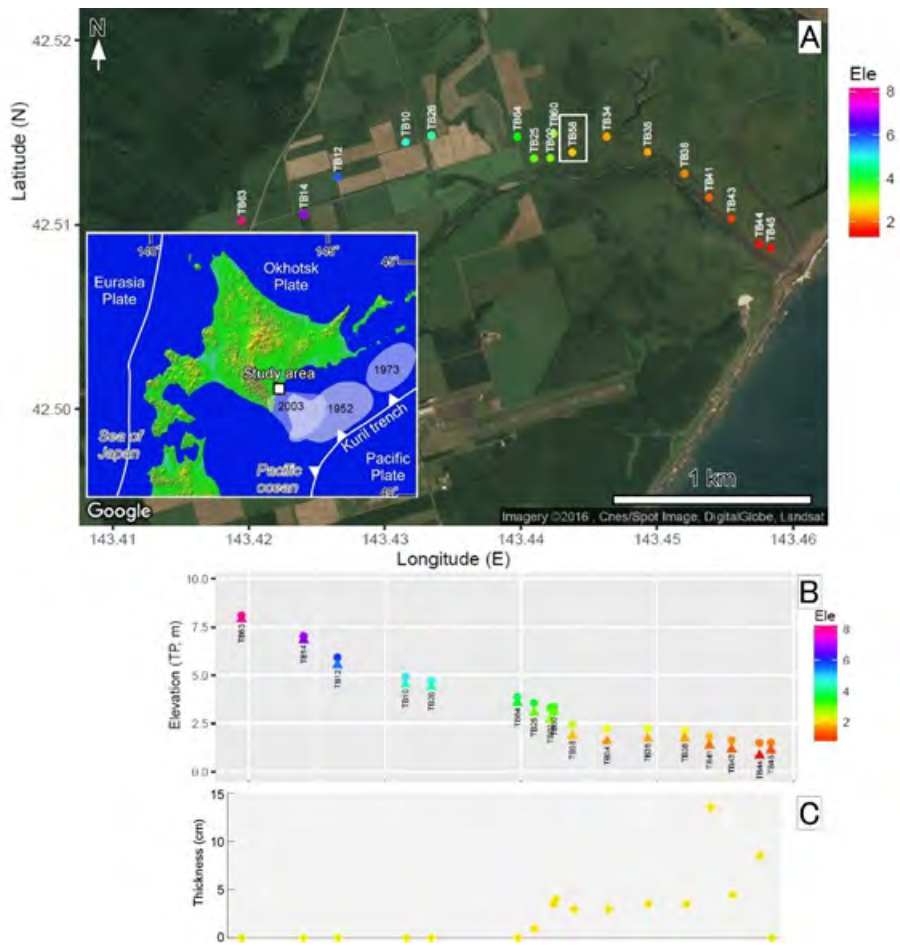


図 1

A 調査地域概要及 . B 調査地点と各地点の標高 () 及び旧地形面の標高 () . C 各調査地点における砂層の層厚 .

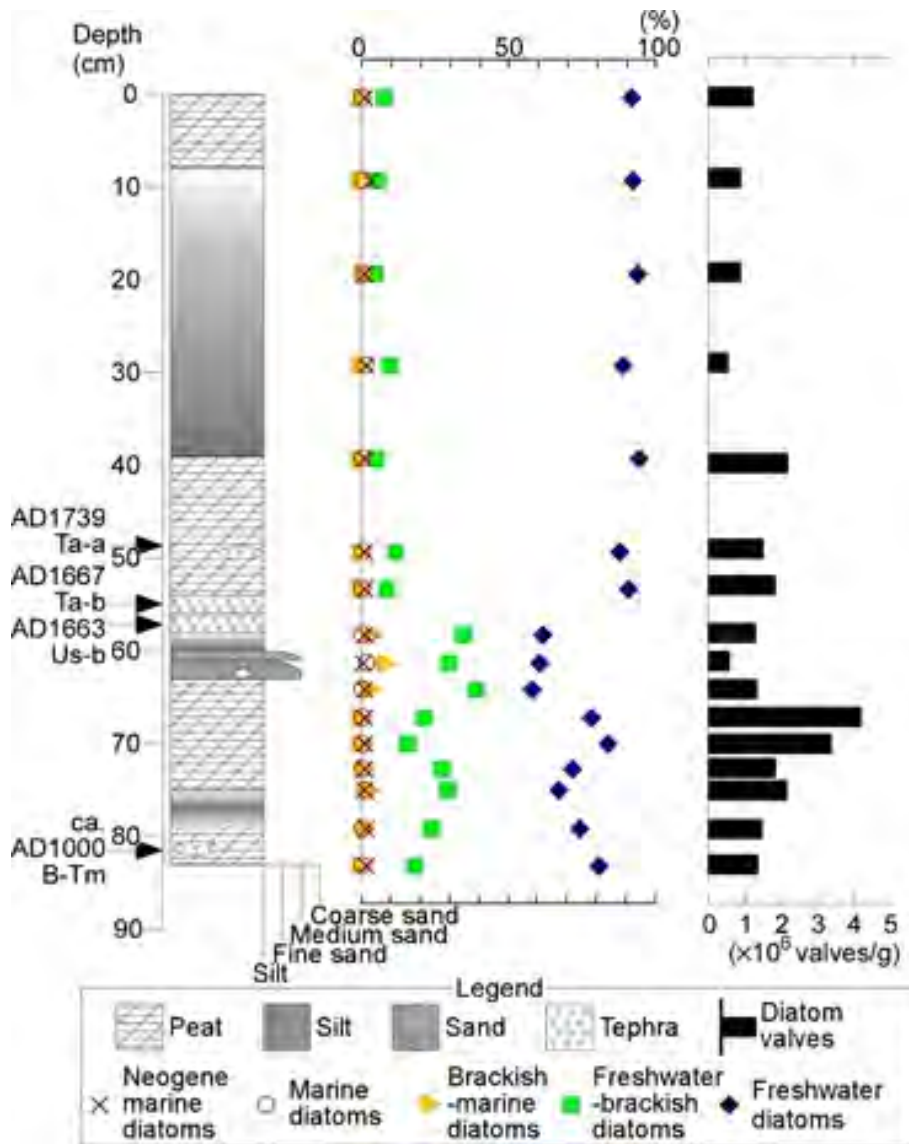


図 2

地点 T58 における柱状試料の柱状図及び珪藻群集の変化．柱状図左の年代値は各火山灰層の降下年代を示す．中散布図は珪藻群集の変化，右グラフは珪藻の殻数を示す．

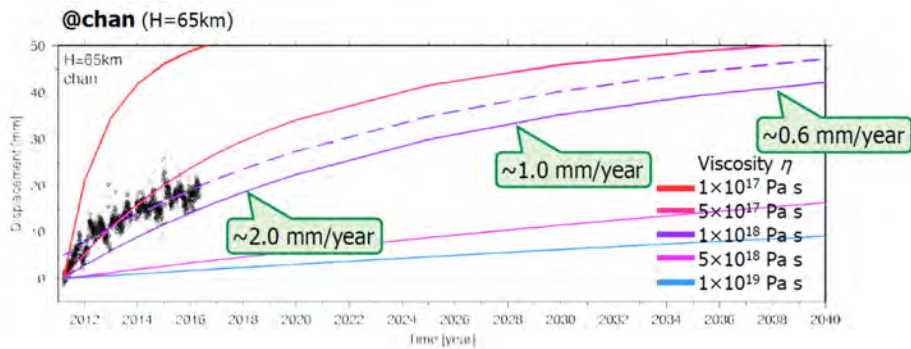


図 3

推定された粘弾性パラメータによる中国長春の IGS GNSS 観測点 (chan) における 2040 年までの変位と速度の予測．今後 30 年間で最大 50mm に達する積算余効変動量となる可能性がある．

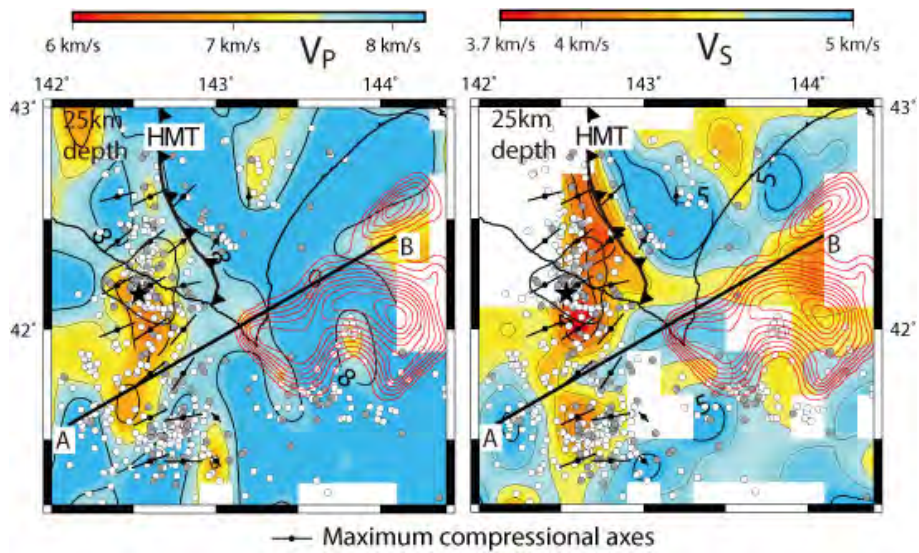


図 4

トモグラフィー解析から求められた速度構造の深さ 25km での水平断面図。星印と曲線で囲まれた領域は、1982 年浦河沖地震の鈴木・本谷 (1983) による震央と Moriya et al. (1998) による余震域をそれぞれ示す。赤色のコンターは 2003 年十勝沖地震の本震時のすべり量分布 (Yamanaka and Kikuchi, 2003)。白と灰色の丸は深さ 20~30km の微小地震の震央で、白丸は陸上稠密地震観測網によって、灰色の丸は海底地震観測期間中に陸上と海底観測網によって決定されたものをそれぞれ表す。最大主圧縮軸の向きを示す細い直線は、その向きが水平な場合に欄外の凡例で示した長さになるように射影して示してある。

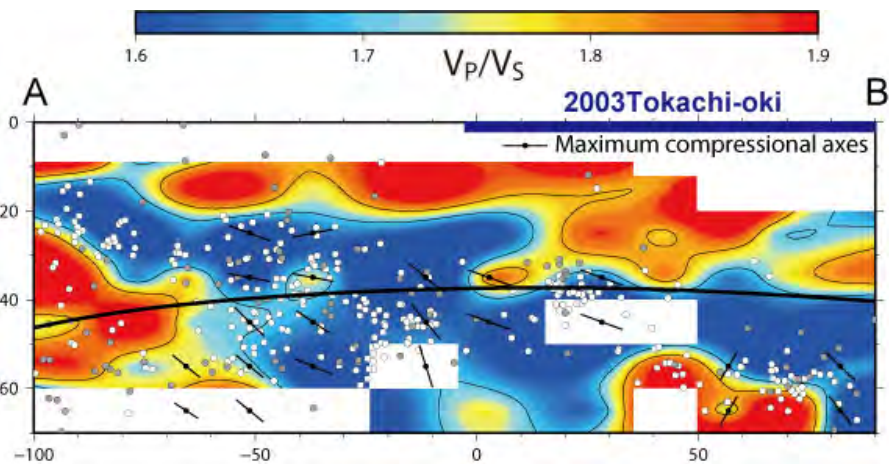


図 5

図 4 中の直線 A-B での V_p/V_s 比の鉛直断面図。横軸は北海道西海岸の位置を原点としている。黒い曲線は Katsumata et al. (2003) による太平洋プレート上面を示す。白と灰色の丸で示される微小地震の震源は、断面の両側それぞれ 10km の範囲で発生したものが投影されている。最大主圧縮軸の向きを示す細い直線は、その向きが断面と平行な場合に欄外の凡例で示した長さになるように射影して示してある。図上の青い太線は 2003 年十勝沖地震のアスペリティを示す。

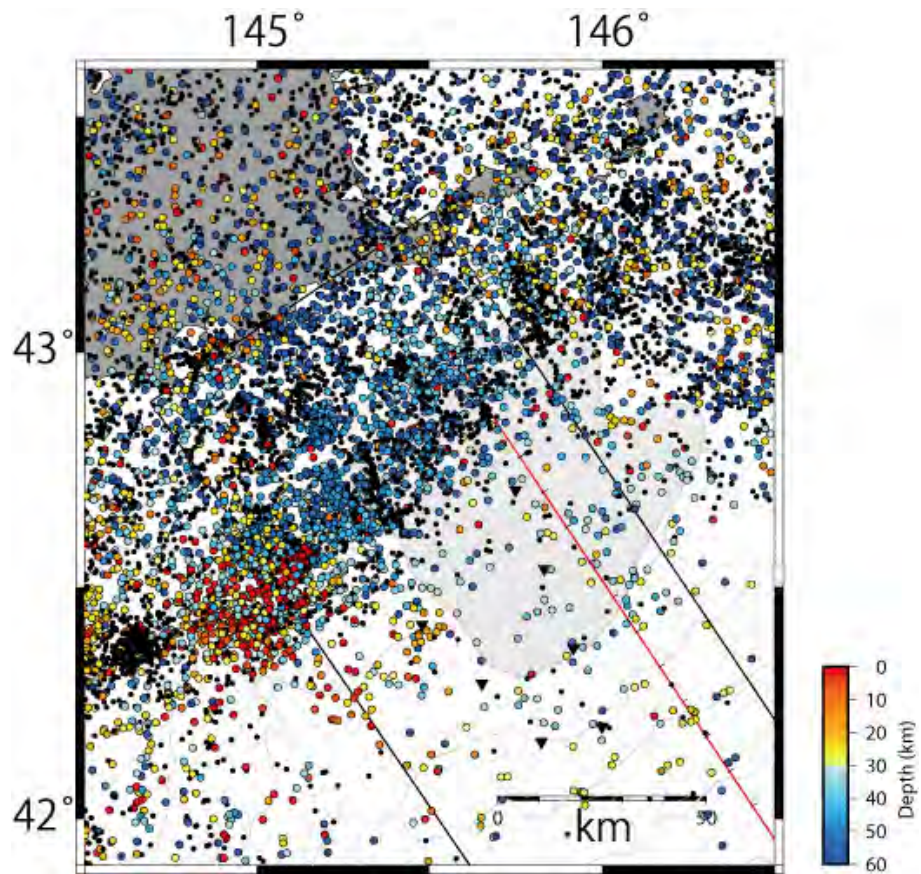


図 6

観測点分布（三角）と全観測期間の震央分布。黒丸は同期間の気象庁一元化震源、灰色の領域は 1973 年根室半島沖地震の破壊域（Yamanaka and Kikuchi, 2002）、赤い直線は Nakanishi et al.(2004) による構造探査測線をそれぞれ示す。

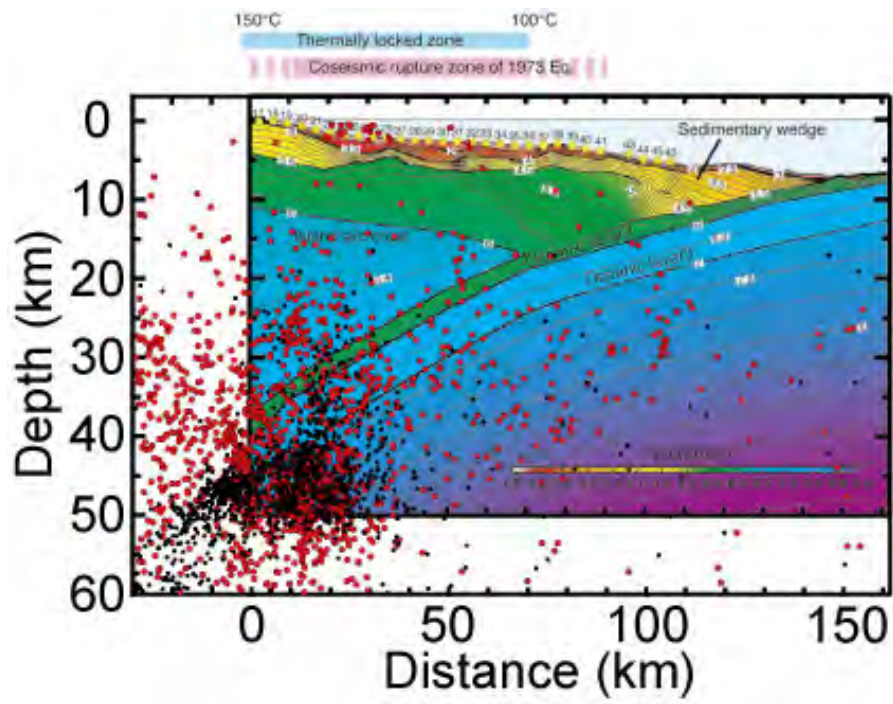


図 7

図 6 の長方形内の震源を Nakanishi et al. (2004) による P 波速度構造に投影した鉛直断面図。赤丸が本研究で決定された震源で、黒丸は同期間の気象庁一元化震源を示す。

2001年ペルー巨大地震

2010年チリ巨大地震

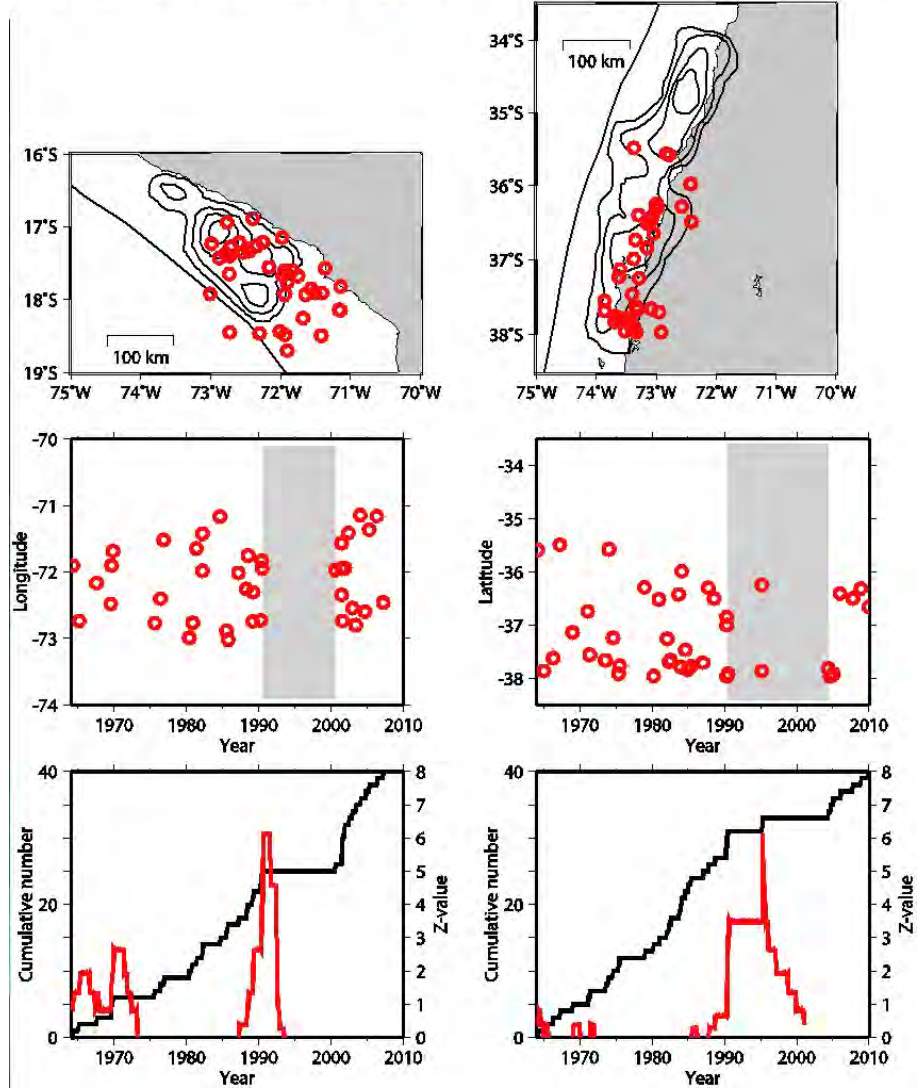


図 8

巨大地震と地震活動静穏化の関係。左) 2001年ペルー巨大地震前の静穏化。右) 2010年チリ巨大地震前の静穏化。上) 巨大地震のすべり域と M5 以上の地震活動。中) それらの地震の時空間分布。灰色が静穏化の期間。下) 地震数積算と Z 値の時間変化。

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

多項目観測に基づく火山熱水系の構造の時空間変化の把握と異常現象の検知

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

熱水系の卓越した火山では、本格的なマグマ噴火の前に、水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火が前駆することが多い。また、マグマ噴火に至らないまま一連の活動が終息してしまうことも少なくない。こうした水蒸気噴火や小規模マグマ水蒸気噴火は、マグマ噴火とは異なり、明瞭な先行現象に乏しく予知の難易度が高いとされている。その一方で、この種の噴火は発生頻度がマグマ噴火よりも高く、社会への影響は必ずしも小さくはない。現状では、水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火を実用レベルで予知することは現実的ではなく、この種の噴火の準備過程に関連する先行現象の事例をできるだけ多く集めて、現象の理解を深めるべき段階にある。この背景をふまえ、本研究課題では、熱水系の卓越する火山として十勝岳・吾妻山・草津白根山・阿蘇山・口永良部島を比較研究の対象として選定し、以下の 1～4 の目標を掲げて比較研究を実施する。

1. 水蒸気噴火に先行する異常現象の検知能力を高めて観測事例を増やす。

2. 比較研究を通じて現象の類似性や法則性を抽出することで、そのからくりの理解を深める。とりわけ、これまで個々の事例研究に基づいて提案されてきた、火道浅部の「熱水だまり」あるいは「蒸気だまり」等の概念モデルの実態を解明したい。

3. 理解が進んだ部分については、観測データを火山活動の現況評価に役立てるための道筋を着けることを目指す。

4. マグマ水蒸気噴火やマグマ噴火へと現象が発展する際、もしくは噴火が終息に向かう際に、観測量にどのような変化が表れるかを整理し、噴火シナリオ高度化に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

上記5火山では、マグマ活動を示唆する深部・広域の地盤変動に乏しく、噴気活動や地熱異常とその消長が見られ、火口近傍に顕著な磁場変化や地盤変動が観測されるのが共通した特徴である。また、微小地震の群発や低周波の火山性微動など、熱水系の関与を示唆する活動が見られる火山もある。こうした特徴的な現象を的確に定量化・モデル化するため、本研究課題では、活動火口域の周辺で、地盤変動、地震、磁場のモニタリング観測を共通手法として用いる(a~c)。これに加えて、可能な範囲で噴気・地熱放熱率、揮発性成分の時間推移を観測する(d, e)。また、過去の熱水系関与型噴火の地質・物質科学的調査・分析(f)により、噴火履歴および噴火推移に関する研究を行い、観測記録にもとづく先行現象との関連を議論する。必要に応じて、既存の資料・観測データの参照や再解析も行う。整備が必要な観測系はH26-27に設置作業を行う。

(a) 地盤変動観測： 熱水系の増減圧過程の時空間分布推定

- ・十勝岳・吾妻山・口永良部島に孔中傾斜計を新規に設置し、連続観測を実施
- ・草津白根山・阿蘇山では既存の観測設備を活用

(b) 地震観測： 熱水系が関与する地動特性の把握

- ・広帯域地震計観測に基づく泥噴出や水蒸気噴火などの噴出現象の定量モデル化
- ・地震波干渉法・RF解析による速度構造の推定と時間変化の検出(内陸課題との連携)

(c) 電磁気観測： 熱水系またはその近傍での蓄放熱およびその時間変化の推定

- ・5火山にテレメータ型プロトン磁力計を設置し、連続観測を実施
- ・磁場変化と放熱率変化の組み合わせによる火道浅部の熱輸送過程の推定

(d) 放熱率観測： 熱水系を通じた熱放出の定量的把握

- 主として東工大の別課題にて実施し本課題と連携
- ・空中熱赤外観測による地表放熱率とその経時変化の推定
- ・噴気画像解析による噴気放熱率の推定

(e) 揮発性成分観測： 熱水系へのマグマ揮発性成分の供給に関する知見

- ・非噴火時の火山ガスの特性把握とその起源の推定
- ・熱水系から湧出する液相の特性把握

(f) 地質調査と噴出物分析： 熱水系由来噴火の履歴解明と監視観測への示唆

- ・十勝岳(H26-28) 熱水系由来噴出物と熱水変質帯の地質調査と分析
- ・吾妻山(H26-30) カルデラ形成以後の噴火活動史の高分解能復元
- ・阿蘇山(H27-29) 完新世テフラ層序調査と年代測定
- ・草津白根山(H26-30) 公募研究枠で実施・本課題と連携予定

(8) 平成28年度の成果の概要：

いくつかの対象火山では、入山規制の関係で一部支障が出ているものの、本課題の研究は概ね計画通り遂行されている。本課題を通じて、個々の火山についての研究成果が論文として公表されただけでなく、火山間の比較研究も促進されつつある。学会発表も、日本火山学会、JpGU等で多数行われた。

(1) 十勝岳(北大・東大理・秋田大・東工大・東大震研)

- 26年度に整備した広帯域地震計・孔中傾斜計・プロトン磁力計による常時観測を継続した。28年度は、別予算で新たに62-2火口付近(前十勝)に孔中地震・傾斜計、空振計を整備した。今後、震源決定精度向上、雑微動ソース推定の可能性、地震波干渉法の基線組合せ増加、微動に伴う傾斜変動の検出、噴気活動に伴う空振解析の進展等が見込まれる。

- 継続的な消磁傾向と表面熱活動の関係を理解するために、産総研の協力を得て、単純な水理構造を仮定した熱水流動数値計算を行い、地表の熱活動や磁場変化との対応について考察した。噴気火道の一

部の浸透率を恣意的に低下させると、その直下で蓄熱と増圧が起こり、噴気放熱率が低下するケースがあることが確認された。

- 簡易型マルチガス観測を継続した。大正火口・62-2 火口・振子沢噴気を比べると、H₂S, SO₂, CO₂ の組成に有意な違いがある。大正火口では C/S 比、H₂S/SO₂ 比とも、62-2 や振子沢よりも相対的に高い。また、2014 年からの経時変化を見ると、大正火口と 62-2 火口では、2016 年にはそれ以前と比べて C/S 比が増大した可能性がある。

- 道総研地質研・気象庁と協力して、62-2 火口周辺で AMT 観測を実施した。62-2 火口近傍では同一地点で 3 年間反復観測を行っているが、2015 年以降に数 100m 深の比抵抗が増大したことを示唆する結果が得られた。今後、既存のデータも加えて 3 次元構造解析を行う。

- 火山灰中の変質物解析からは、十勝岳では未変質部と変質部が粒子内で共存する火山灰が多く、著しい溶脱反応を示しつつも、不完全な変質であるという結果が得られた。火山ガスに由来する酸性流体と既存岩石が短時間反応したと解釈できる。十勝岳では浅所の不安定な熱水系に由来する変質物のみが認められ、大規模で安定した熱水系に由来する変質火山灰が見られる御嶽山とは異なる。マグマ貫入頻度に応じた熱水系の発達様式の違いによる相違であると推測される。

(2) 吾妻山 (秋田大・茨城大・東北大)

- 立入規制のかかる火口周辺 500 m の外側について調査・記載・試料採取を行った。過去約 2000 年の水蒸気噴火噴出物の実体鏡観察と薄片観察、パルク X 線回折分析を実施したところ、大穴火口 1331 年噴出物を境に火山灰粒子の構成が変化していた。1331 年以前の噴火では、変質鉱物を堆積物中に多く含み、新鮮な火山岩片からなる火山灰粒子をあまり含まない。これらは火口下に発達する熱水系由来の噴火であった可能性が高い。一方、1331 年より後の噴火では、新鮮な火山岩片を多く含む噴出物が卓越し、一部はブルカノ式噴火の火山灰に類似する。すなわち、1331 年以降はマグマ貫入の影響を強く受けるようになった可能性がある。

- 吾妻小富士山体構成噴出物を登山道沿いに観察し、マグマ噴出物と水蒸気噴火堆積物を確認すると同時に、マグマ水蒸気爆発由来と思われる噴出物も新たに確認した。

- 広帯域 MT データ解析による 3 次元比抵抗構造推定、気象庁との共同による全磁力反復観測を実施した。比抵抗構造推定では、一切経山から大穴クレーターの直下で円柱状の良導体が鉛直に存在するイメージが得られた。一方、中吾妻から西吾妻にかけてはそうした特徴的な構造はみられなかった。また、2016 年の全磁力変化は概ね停滞している状況であった。

(3) 草津白根山 (東工大)

- 防災科研・干俣観測点で得られた坑井試料の弾性波速度を、高知大学コアセンターの実験設備を用いて測定した。また、走時残差に基づいて白根火砕丘周辺の最適な速度構造を検討した。

- 東工大 6 観測点で得られた波形記録に基づき手動検測を実施した。今回、新たに得られた最適地震波速度構造を用いるとともに、検測基準をより厳密に定義しなおした結果、従来よりも震源分布の広がりが半分程度となり、湯釜南部直下の狭い範囲で地震が発生していることが分かった。

- 草津白根山に DD 法解析震源決定を適用するにあたり、Waldhauser and Ellsworth (2000) のプログラムを拡張した。その結果、地震発生領域が 2 つ存在し、それぞれ発生パターンおよび波形が異なることが初めて明らかとなった。波形の特徴から、海拔高度 900m 付近に熱水だまりと思われる、地震波を減衰させる領域の存在が示唆された。

- 火口周辺 1km に 3 台の孔中地震傾斜計を運用している。湯釜火口浅部直下の増圧を示す傾斜変動は 2014 年から 1 年半にわたり継続し、膨張体積は 12 万 m³ と推定された。2015 年 11 月以降は反転し、現在は湯釜周辺の収縮を示す変動が継続している。

- 火口周辺 1km に 4 台の GNSS 連続観測点を運用している。その結果、2014 年から 2015 年には全点で隆起し、最大は湯釜観測点の 44mm であることがわかった。2015 年以降は停滞もしくは沈降に転じ、湯釜観測点では 2016 年の 1 年間で 15mm の沈降が観測された。

- 湯釜水温観測からは、2014 年 5 月頃から水温が平年よりも数 高い状態が継続したことが明らかになっている。エネルギーに換算すると、湖底から供給される熱量が平年の 1.5 倍に増加したことに相

当する。水温の高い状態は約2年間継続し、2016年8月以降は平年値へ戻っている。2016年10月に水温センサを追加設置した。

- 2016年11月4日夜間に、草津白根山および吾妻山において軽飛行機を用いた空中赤外線観測を行った。草津では2014・15・16年の3年連続の実施、吾妻山では初めての実施である。得られた赤外画像から数値地形モデルを製作し、オルソ補正を施した上で熱異常面積を計算し、地表面放熱率を推定した(製作中)

- 火口湖の塩化物イオンおよび水安定同位体比に注目して、その時間変動を計算する数値モデルを開発した。その結果、湯釜火口湖に注入している流体は、高温火山ガスと天水の単純な混合で説明可能なことが初めて分かった。2014年以降の活動活発化とその後の経過は、熱水系での気液分離の進行で説明可能である。

- 湯釜火口周辺の5箇所において、プロトン磁力計による地磁気全磁力連続観測を継続した。2014年5月の熱消磁イベント以降、全磁力はほぼ変化のない状態で推移しており、高温流体の地下浅部への貫入の影響が続いていたと考えられた。2016年春頃から、北側観測点で減少、南側観測点で増加の傾向がわずかに見られるようになり、山体が帯磁する傾向に戻りつつあると考えられる。

(4) その他の火山との比較(北大・茨城大・東北大・京大理・九大)

本課題で直接的な調査対象としている3火山以外にも、火山活動に対する熱水系の関与が強いと考えられている諸火山について、地質調査、岩石・鉱物分析、観測、データ解析を通じて新たな知見が集積されている。

- 大雪火山群の旭岳とニセコ火山群のイワオヌブリの活動史について、特に水蒸気爆発噴火に留意して検討した。旭岳では2~1万年前が活動最盛期であったこと、その後はマグマ噴出率が急減し、約5000年前に小規模なマグマ噴火以降は熱水活動が主体となったことが明らかになった。最近5000年間では2~3回の水蒸気噴火があり、2800年前の噴火が最も大規模であった。この活動では、山体崩壊の後に水蒸気爆発があり、最後に多数の火口から熱泥水が噴出し、ラハールとなって流下したことが明らかになった。この噴火推移は十勝岳1926年噴火と類似している。

- 地質・岩石学的研究の成果がまとまりつつある秋田駒ヶ岳火山について、成層火山体形成途上に起きた山体崩壊の前後における、噴火活動の変化や特異な火山活動の有無、山体崩壊前後のマグマ活動の変化などについて研究考察を行った。また、吾妻山・安達太良山でも現地調査を実施した。

- 御嶽山や秋田焼山などでは、斑岩銅鉱床や地熱地帯で認められる変質分帯と水蒸気噴火火山灰がよく対比でき、変質分帯を形成する熱水系内の多様な場所から火山灰が由来していることがこれまでの研究からわかってきた。これは熱的にも化学的にも長期的に安定な熱水系が発達する火山に認められ、そのような火山は浅所へのマグマ貫入頻度が低い火山でもある。一方、十勝岳のように、地下に熱水系の存在が示唆されていながらも頻繁にマグマが浅所に貫入し、マグマ噴火やマグマ水蒸気噴火が生じる火山では、変質分帯と噴出物の対比において様相が異なっていることが明らかになりつつある。

- 前年度に続き、地震波干渉法解析により火山性流体の移動現象等を検知する方法を構築する研究を進めた。気象庁の配信するデータを用いて、数年間分の雑微動相関解析を14火山(十勝岳、雌阿寒岳、樽前山、北海道駒ヶ岳、安達太良山、吾妻山、磐梯山、那須岳、浅間山伊豆大島、三宅島、雲仙岳、阿蘇山、桜島)について行った。このうち、GNSS観測による面積ひずみと相関が得られたのは、伊豆大島、桜島、樽前山であった。また、降雨量データと比較したが顕著な相関はいずれの火山でも得られなかった。

- 九重山では、1995年の水蒸気噴火以後、一貫して地盤の収縮と地下浅部の帯磁が継続していたが、2014年頃からその傾向は頭打ちとなり、次の噴火に向かう準備過程に入ろうとしている可能性がある。熊本地震の発生を受け、火山活動への影響も懸念されることから、課題番号2201(代表:九大)と連携し、別予算で導入された電磁気連続観測装置(MT法連続観測及びプロトン磁力計)を2016年5月に展開した。プロトン磁力計による連続観測からは、緩やかな消磁傾向が認められた。

(5) データ自動処理・蓄積・共有システム(東北大・北大・東工大・東大震研・京大理)

分担者間のデータ共有と比較研究を容易にするため、テレメータ式磁力計のデータを自動収録・処理・表示するシステム兼データサーバを構築し、改良を重ねつつ試験運用を行っている。東北大学に構築した全磁力データサーバーに北海道の火山で観測されているプロトン磁力計のデータ統合を行った。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Aizawa, K., H. Asaue, K. Koike, S. Takakura, M. Utsugi, H. Inoue, R. Yoshimura, K. Yamazaki, S. Komatsu, M. Uyeshima, T. Koyama, W. Kanda, T. Shiotani, N. Matsushima, M. Hata, T. Yoshinaga, J. Uchida, Y. Tsukashima, A. Shito, S. Fujita, A. Wakabayashi, K. Tsukamoto, T. Matsushima, M. Miyazaki, K. Kondo, K. Takashima, T. Hashimoto, M. Tamura, S. Matsumoto, Y. Yamashita, M. Nakamoto, and H. Shimizu, 2017, Seismicity controlled by resistivity structure: the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu Island, Japan. *Earth, Planets and Space*, **69**:4, DOI: 10.1186/s40623-016-0590-2.
- 井村 匠・大場 司・中川光弘, 熱水系由来噴出物の鉱物学的特徴 十勝岳火山噴出物の例, 地質学雑誌 (投稿中)
- 石毛康介・中川光弘, 2017, 北海道中央部, 大雪火山群旭岳グループの後期更新世~完新世火山活動史. 地質学雑誌, **123**, 印刷中.
- 木下貴裕・神田径・高倉伸一・関 香織・松永康生, 高密度電気探査による那須火山茶臼岳噴気地帯における比抵抗構造の推定 CA 研究会論文集, 2016, 78-83.
- Minami Y., T. Imura, S. Hayashi, and T. Ohba, 2016, Mineralogical study on volcanic ash of the eruption on September 27, 2014 at Ontake volcano, central Japan: correlation with porphyry copper systems, *Earth Planets Space*.2016, **68**:67, DOI 10.1186/s40623-016-0440-2.
- Mori, T., T. Hashimoto, A. Terada, M. Yoshimoto, R. Kazahaya, H. Shinohara, and R. Tanaka, 2016, Volcanic plume measurements using a UAV for the 2014 Mt. Ontake eruption, *Earth Planets Space*, **68**:49, DOI: 10.1186/s40623-016-0418-0.
- 及川輝樹・大場 司・藤縄明彦・佐々木寿, 2016, 水蒸気噴火の地質学的研究(総説). 地質学雑誌 125 周年特集号「水蒸気噴火」(投稿中).
- Seki, K., W. Kanda., T. Tanbo, T. Ohba, Y. Ogawa, S. Takakura, K. Nogami, M. Ushioda, A. Suzuki, Z. Saito, and Y. Matsunaga, 2016, Resistivity structure and geochemistry of the Jigokudani Valley hydrothermal system, Mt Tateyama, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **325**, 15-26, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2016.06.010.
- 田中 良・橋本武志, 2016, 雌阿寒岳ナカマチネシリ火口の全磁力変化と磁気測量, 北海道大学地球物理学研究報告, **79**, 15-23.
- Tanaka, R., T. Hashimoto, N. Matsushima, and T. Ishido, Permeability-Control on Volcanic Hydrothermal System: Case Study for Mt. Tokachidake, Japan, Based on Numerical Simulation and Field Observation, *Earth, Planets and Space*, in review.
- Usui, Y., Y. Ogawa., K. Aizawa, W. Kanda, T. Hashimoto, T. Koyama, Y. Yamaya, T. Kagiya, 2016, Three-dimensional resistivity structure of Asama Volcano revealed by data-space magnetotelluric inversion using unstructured tetrahedral elements, *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1093/gji/ggw459.
- 柳澤妙佳, 2017, 秋田駒ヶ岳火山, 主成層火山形成期のマグマ供給系変遷について. 茨城大学大学院理工学研究科修士学位論文.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

- 十勝岳・吾妻山・草津白根山については, これまでに整備した観測網によるデータ取得を継続し、比較研究の基礎資料とする。空中熱赤外観測、マルチガス測定、UV カメラによる SO₂ フラックス推定、全磁力反復測量、MT 法比抵抗探査等のキャンペーン観測も補助的に実施する。
- 上記 3 火山に限らず, 国内の多数の火山に対して地震波干渉法の系統的な解析を引き続き実施する。
- 全磁力データサーバーの改良をさらに進める。北海道・東北地方に続き, 草津白根山, 焼岳で観測されている全磁力データ統合を進めることで, 研究分担者間でのデータ共有・アーカイブ・簡易オンライン

ン処理などを可能にする。

- 地質調査と噴出物分析については、十勝岳と吾妻山を主な対象とし、水蒸気噴火履歴と個々の噴火様式について検討する。加えて、詳細な変質鉱物分析や硫黄同位体分析を実施する。これにより、火山熱水系の挙動や物理化学条件、火山熱水系の長期的な推移、噴火直前における火山直下の熱水系の温度、圧力条件の推定を目指す。比較の対象として、御嶽山、栗駒山、インドネシアのガルングング火山、ケルト火山についても類似の手法を適用し、熱水卓越型火山での噴出物の物質科学的な特徴について一般法則を探る。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学大学院理学研究院	橋本武志・青山 裕・茂木 透・中川光弘
東北大学大学院理学研究科	西村太志・豊国源知・市來雅啓
東京工業大学火山流体研究センター	野上健治・神田 径・寺田暁彦・小川康雄
東京大学地震研究所	小山崇夫・青木陽介
東京大学大学院理学系研究科	森 俊哉
京都大学大学院理学研究科	大倉敬宏・宇津木充・横尾亮彦
京都大学防災研究所	中道治久・井口正人・味喜大介・山本圭吾・為栗 健
九州大学大学院理学研究院	相沢広記
他機関との共同研究の有無：有	
秋田大学国際資源学部国際資源学科	大場 司
茨城大学理学部理学科	藤縄明彦
熊本大学教育学部	宮縁育夫

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
電話：011-706-2892
e-mail：
URL：<http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/>

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本武志
所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

噴火履歴及び観測事例に基づく噴火事象系統樹の試作

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

これまでに噴火事象系統樹(噴火シナリオ)が作成されておらず、しかしながら火山活動が活発であり、噴火が発生した場合の社会的影響が大きいと考えられる火山を選択し、従来と同様に噴火履歴に基づき、それに地球物理学的観測事例も加味した噴火事象系統樹を作成する。そして、試作結果は社会に発信し、火山防災の基礎的情報として提供する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

対象火山は火山活動レベルが高く、噴火履歴・噴火様式が個性的な、浅間山、十勝岳および阿蘇山とする。それぞれの火山では噴火履歴および各噴火の推移に関する現在までの知見を収集・整理する。必要に応じて古記録の解読・解析を行う。近年の火山活動に関しては、地震学、測地学、電磁気学、火山ガスおよび物質科学などの解析結果を整理して、先行現象と噴火現象に関する経験則を求める。また社会的要請が大きい富士山についても噴火事象系統樹の作成を試みるが、近代火山観測は富士山の確実なマグマ活動および噴火活動を経験していない。そのため、上記 3 火山のように、噴火事象分岐において観測事例を加味するため必要なデータが、富士山ではない。そのため地質学および古記録解読による噴火履歴・推移データのみで噴火事象系統樹を作成することになり、これまで試作した火山とは状況が異なる。試作物は学会等で公表し、研究者あるいは防災担当者の意見を集める。場合によってはそれらの意見をもとに、噴火事象系統樹を改定する。

平成 26 年度はこれまで試作した噴火事象系統樹・噴火シナリオについて総括し、そこで浮かび上がった課題に基づき、本研究課題での噴火事象系統樹の作成方針を決定する。また浅間山について、噴火履歴、各噴火の推移、物質科学的データおよび噴火観測データなど現在までの知見を収集・整理する。必要に応じて追加の資料解析を行う。

平成 27 年度は浅間山について前年度の検討結果をもとに、噴火事象系統樹を試作する。新たに十勝岳について、噴火履歴、各噴火の推移、物質科学的データおよび観測データなど現在までの知見を収集・整理する。特に 1926 年噴火では古記録の再解析を行う。

平成 28 年度は十勝岳について前年度の検討結果をもとに、噴火事象系統樹を試作する。新たに阿蘇山について、噴火履歴、各噴火の推移、物質科学的データおよび観測データなど現在までの知見を収集・整理する。

平成 29 年度は阿蘇山について前年度の検討結果をもとに、噴火事象系統樹を試作する。新たに富士山について、噴火履歴および各噴火の推移に関する現在までの知見を収集・整理する。必要に応じて古記録の再解析を行う。また富士山と類似した活動を行う火山を国内外から選び出し、その観測データと噴火現象を参考にして、富士山の噴火現象を考察する。

平成 30 年度は富士山について前年度の検討結果をもとに噴火事象系統樹を試作する。試作物は学会等で公表し、研究者あるいは防災担当者の意見を集める。一方で 5 年間の活動を総括する。作成した噴火事象系統樹を評価し、今後の課題を明らかにし、文書にまとめる。

研究課題実施中には、他の研究課題とつねに連携を取り、それらの研究成果を取り入れる。また噴火が発生した場合には、その火山において緊急的に噴火事象系統樹を試作・公表することも念頭に入れる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

蔵王について、最新の活動における噴火履歴・様式および個々の噴火規模を、補充調査を加えて再検討した。そして平成 27 年度に試作した噴火事象系統樹を改訂した。また浅間山については、噴火履歴の検討に加え最近の観測事例も考慮した噴火事象系統樹を試作した。阿蘇山については噴火事象系統樹作成のための研究集会を年度末に実施する予定である。

1. 蔵王火山の噴火事象系統樹改訂のための研究

一昨年に噴火シナリオの暫定版を作成した際に、さらに検討しなければならない課題が挙げられた。そのうち、蔵王山最新の火口である御釜からの噴火については、5 回以上と認められた噴火エピソードの回数、時期及び規模の推定精度を上げること、また水蒸気噴火の規模、マグマ噴火への推移、その後繰り返されるマグマ噴火の様相を解明することが課題となった(図 1)。このうち、御釜からのテフラ層の数、噴出時期、規模について精度を上げて検討を行い、またテフラ層と近傍相との対比について検討した(図 1)。その結果、テフラ層は 7 枚(Za-Ok 1 ~ 7) 認められ、各々の年代は、順に 13 世紀、14 世紀、14 ~ 15 世紀、15 ~ 16 世紀、17 世紀、18 世紀末 ~ 19 世紀、1895 年と推定された(シート 1)。規模についても等層厚線図から推定した。

噴火の推移については、これまでに Za-Ok 1 ~ 5 については、水蒸気噴火噴出物 複数のマグマ噴火噴出物という推移が、Za-Ok 7 について水蒸気噴火噴出物のみということは認められていたが、Za-Ok 6 については詳細は不明であった。今回、新たに見出した露頭での産状から、最下部に水蒸気噴火噴出物が認められ、その上位にマグマ噴火によるスコリア質火山砂層が累重している。これは水蒸気噴火の後、小規模のマグマ噴火が断続したための可能性がある。Za-Ok 6 は 18 世紀末 ~ 19 世紀のものとして推定されたので、この時期の古記録を検討しなおしたところ、合計で 42 件の噴火記録があった。その記述を精査したところ、1794 年、1809 年、1820 年、1831 年、1867 年前後に活動が活発であったらしい。1794 年は Za-Ok 6 エピソードの最初の水蒸気噴火で、その後の 3 回は、後続するマグマ噴火に相当するものかもしれない。

2. 浅間山噴火事象系統樹

事象系統樹は以下のように作成した。

(1) 噴火活動の分類

まず噴火履歴に基づき、浅間前掛山の噴火を 1) 極小規模噴火, 2) 小規模噴火, 3) 中規模噴火, 4) プリニー式噴火, 5) 大規模噴火の 5 つに区分し、過去の噴火事例をあてはめた(図 2)。これとは別に最近の地殻変動観測期間の変動と噴火から噴火未遂事象も取り上げた。

(2) 噴火事象の確率の算出

確率は、単純に「特定イベント回数 ÷ 全イベント回数」で算出した。ただし、対象とした時間の長さは様々である。大規模噴火は古記録だけでなく、堆積物としても残りやすく、地質学的研究で過去に遡りその噴火の存在を明らかにできる。一方で、小中規模噴火の噴出物は地層中にほとんど残されておらず、古記録に頼らざるを得ない。しかし、1600 年以前の古記録については不確かさが大きい。その点を考慮して、噴火の規模により確率を計算する時間幅を変えざるを得なかった。

(ア) 噴火開始と噴火未遂

噴火はマグマが上昇してくることによって開始される。しかし、火山では、マグマが上昇してくる前兆現象がわかっていても噴火に至らない噴火未遂現象がしばしば認められる。浅間前掛火山では、1996 年以降現在に至るまで GPS による火山性地殻変動が観測されており、マグマの上昇事件が観測されている。それによれば、1996 年から 2009 年までの 13 年間に、マグマの上昇事件は 6 回あり、そのうちの 2 回が噴火に至っている(図 3)。単純に計算すると、噴火未遂の確率が 4/6、噴火の確率が 2/6 となる。パーセント表記では、前者が 67%、後者が 33%である。

(イ) 噴火開始後、ごく小規模噴火で終息するか小規模噴火に至るかの確率

最近 42 年間にごく小規模噴火と小規模噴火の噴火事象が生じた回数は 5 回である。このうち、ごく小規模噴火は 3 回で、小規模噴火は 2 回となる。したがって、前者の起こる確率は 3/5、後者の起こる確率は 2/5 である。パーセントでは、前者が 60%、後者が 40%となる。

(ウ) 小規模噴火が起こった後、そのまま終息するか、中規模噴火に移行するか、その後プリニー式噴火が起こるかの確率

1783 年以降 233 年間の記録に残る噴火回数は 13 回である。このうち中規模噴火を、大正噴火期と昭和噴火期の 2 回の事象とみなすと、その起こる確率は 2/13 となり、パーセントでは 15%となる。また、中規模噴火以外の小規模噴火の起こる確率は 11/13 となり、パーセントでは 85%である。1128 年以降の期間を考え 1783 年以降の噴火事象回数を単純にこの期間にまで外挿すると、その回数は 49.5 回となる。この期間にプリニー式噴火が起こった回数は 2 回であり、確率は 2/49.5、すなわちパーセントでは 4%となる。一方、中規模噴火の起こる確率をこの期間にまで拡張して計算すると、残る 47.5 回のうち中規模噴火が起こる回数は $47.5 \times 0.15 = 7.1$ 回、小規模噴火が起こる回数は $47.5 \times 0.85 = 40.4$ 回となり、確率ではそれぞれ 7.1/49.5、40.4/49.5 となる。すなわちパーセントでは、前者が 14%、後者が 82%である。

(エ) プリニー式噴火がそのまま終息するか、大規模噴火に移行するかの確率

プリニー式噴火は 1128 年以降 2 回しか起きていないので、そのまま終息するか大規模噴火に移行するかの確率はそれぞれ 50%である。噴火の兆候があってから大規模噴火に至る確率は、 $0.33 \times 0.40 \times 0.04 \times 0.5 = 0.0026$ ということになる。

(オ) 山体崩壊・岩屑なだれ堆積物の発生確率

浅間前掛火山は約 1 万年前から活動を開始した若い火山であり、まだ 1 度も山体崩壊を経験していない。浅間火山を黒斑火山にまで遡ってみた時には、黒斑火山(仙人火山を含む)は 10 万年前から 2 万年前までの約 8 万年間に 1 度だけ山体崩壊を経験している。黒斑火山の活動は 2.9 万年前以降プリニー式噴火を繰り返す仙人火山に移行しており、仙人火山は約 2.6 万年前に大規模な山体崩壊を行っている。この大規模な山体崩壊は崩壊時に同時的な噴火を行った証拠があり、セントヘレンズ型の山体崩壊であったと推定される。黒斑火山まで入れた 10 万年間に山体崩壊が起こる確率は 1 年あたり 10 万分の 1 となる。一方、仙人火山以降の 3 万年間に山体崩壊が起こる確率は 1 年あたり 3 万分の 1 となる。

以上の手続きによって噴火事象系統樹を試作した(図 4)。大きな仮定を含んでいるが、事象分岐に

確率の数値を記入した系統樹としては初めての事例となる。特に噴火未遂を考慮した点は評価できると考えている。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Hasegawa, T. and M. Nakagawa, 2016, Large scale explosive eruptions of Akan volcano, eastern Hokkaido, Japan: A geological and petrological case study for establishing tephro-stratigraphy and -chronology around a caldera cluster Quaternary International, 397, 39-51.

長谷川健・中川光弘・宮城磯治, 2017, 北海道東部, アトサヌプリ火山における爆発的噴火履歴の再検討. 地質学雑誌, 印刷中.

石毛康介・中川光弘, 2017, 北海道中央部, 大雪火山群旭岳グループの後期更新世~完新世火山活動史. 地質学雑誌, 123, 印刷中.

松本亜希子・中川光弘・井口正人, 2016, 火山灰中の本質ガラスの石基組織からみる桜島火山 2012 年 7 月 24 日南岳山頂火山口噴火 特にマイクロライトの特徴について 火山, 61, 545-558.

Nishi Y, M. Ban, T. Oikawa, S. Yamasaki, S. Sato, A. Alvarez-Valero, R. Shinjo, 2016, Magma Feeding System in the Initiation of Goshikidake Activity (Zao Volcano, Japan). Goldschmidt Conference Abstracts. 2288.

Prambada, O., Y. Arakawa, K. Ikehata, R. Furukawa, A. Takada, H.E. Wibowo, M. Nakagawa, and M.N. Kartadinata, 2016, Eruptive history of Sundoro volcano, Central Java, Indonesia since 34 ka. Bull. Volcanol., 78, 81, doi; 10.1007/s00445-016-1079-3.

Razzhigaeva, N. G., A. Matsumoto, and M. Nakagawa, 2016, Age, source and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. Quaternary International, 397, 63-78.

Tanaka, R., T. Hashimoto, N. Matsushima, and T. Ishido, Permeability-Control on Volcanic Hydrothermal System: Case Study for Mt. Tokachidake, Japan, Based on Numerical Simulation and Field Observation, Earth Planets Space, in review.

Uesawa, S., M. Nakagawa, and A. Umetsu, 2016, Explosive eruptive activity and temporal magmatic changes at Yotei Volcano during the last 50,000 years, southwest Hokkaido, Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 27-44.

安井真也・高橋正樹・河田倫明・金丸龍夫, 2016, 草津白根火山の南東麓で見出された埋没岩屑なだれ堆積物, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 51, 221-230.

安井真也, 2016, 浅間火山天明噴火(1783年)の噴出物の記載岩石学, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 51, 231-255.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

十勝岳および阿蘇山においてコアメンバー会議を開催し, 噴火事象系統樹を作成する。両火山では地球物理学的観測データが, 他の火山と比べると豊富であるので, 浅間と同様に噴火未遂も考慮に入れた系統樹の作成を目指す。蔵王については平成 27 年に試作したものを, 新たな地質調査結果を入れて改訂を行う。また富士山の噴火事象系統樹作成のための研究集会を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

北海道大学 中川光弘, 橋本武志, 大島弘光

東京大学 中田節也, 森田裕一, 武尾 実, 前野 深

東京工業大学 野上健治

京都大学 鍵山恒臣, 大倉敬宏, 井口正人

他機関との共同研究の有無 : 有

日本大学 安井真也, 高橋正樹

静岡大学 小山真人, 石橋秀巳
 熊本大学 宮縁育夫
 産総研 高田 亮, 篠原宏志, 星住英夫, 石塚吉浩, 下司信夫
 電中研 三浦大助, 上澤真平
 気象庁 松森敏幸
 道総研地質研究所 高橋 良

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
 部署等名: 北海道大学大学院理学研究院
 電話: 011-716-2111(代表)
 e-mail: mnakagawa@mail.sci.hokudai.ac.jp
 URL: http://www.sci.hokudai.ac.jp/eps/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者
 氏名: 中川光弘
 所属: 北海道大学大学院理学研究院

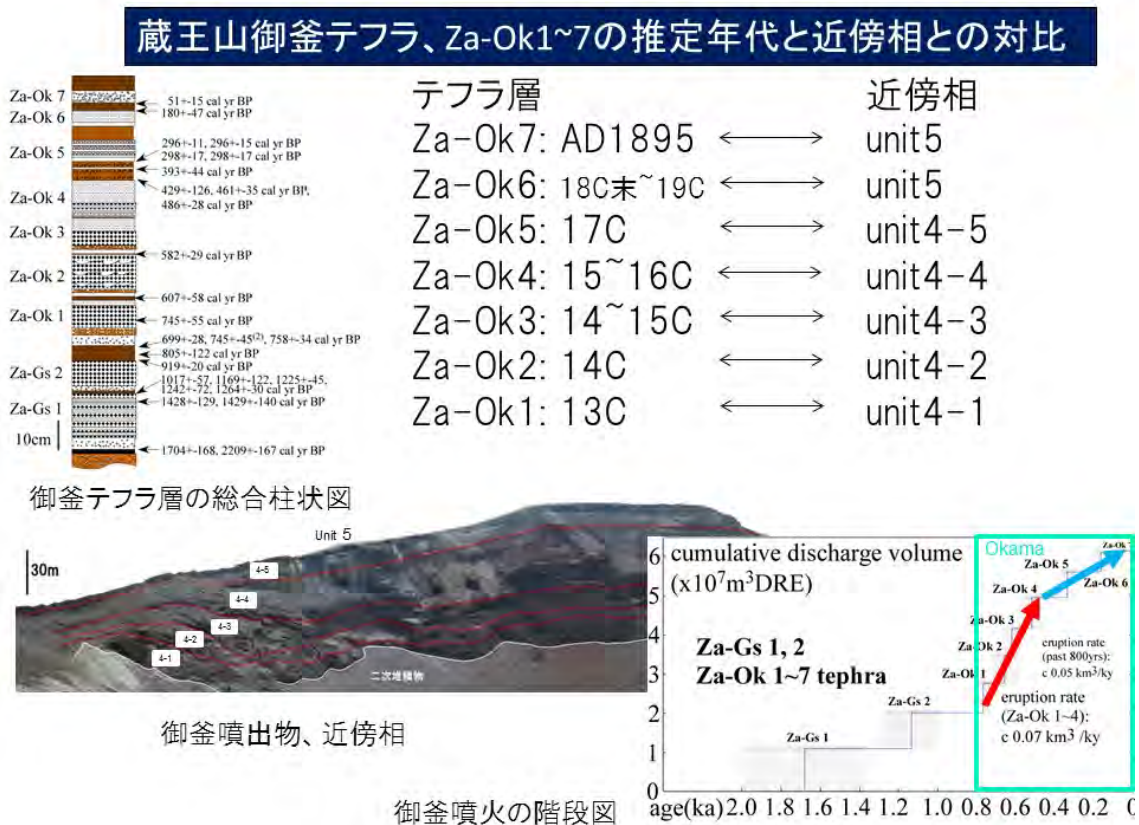


図1. 蔵王火山御釜噴火の推定年代、層々対比と階段ダイヤグラム

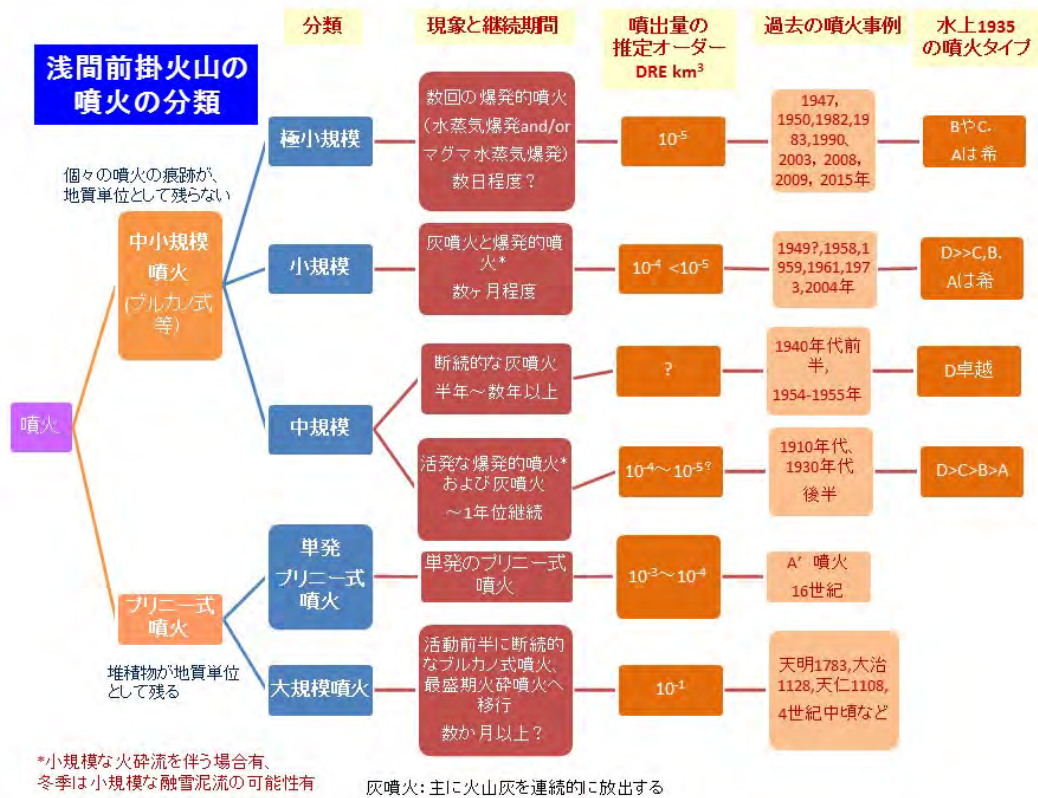


図 2 . 浅間火山 (前掛火山) の噴火の分類 .

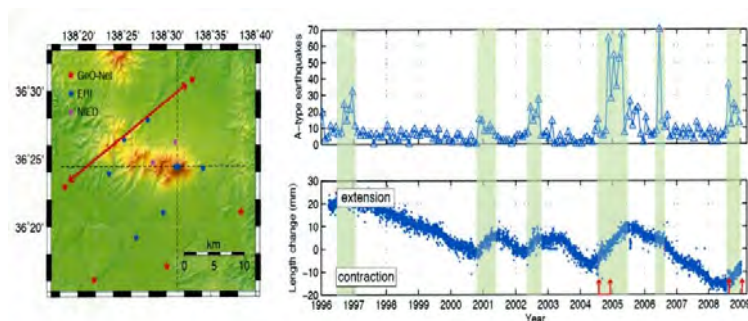


図 3 . GPS による浅間火山周辺の地殻変動と火山性地震活動および噴火事象 (Takeo, 2013) . 6 回のマグマ上昇があり、そのうちの 2 階 (赤矢印) が噴火に至っている .

浅間前掛火山の噴火事象系統図

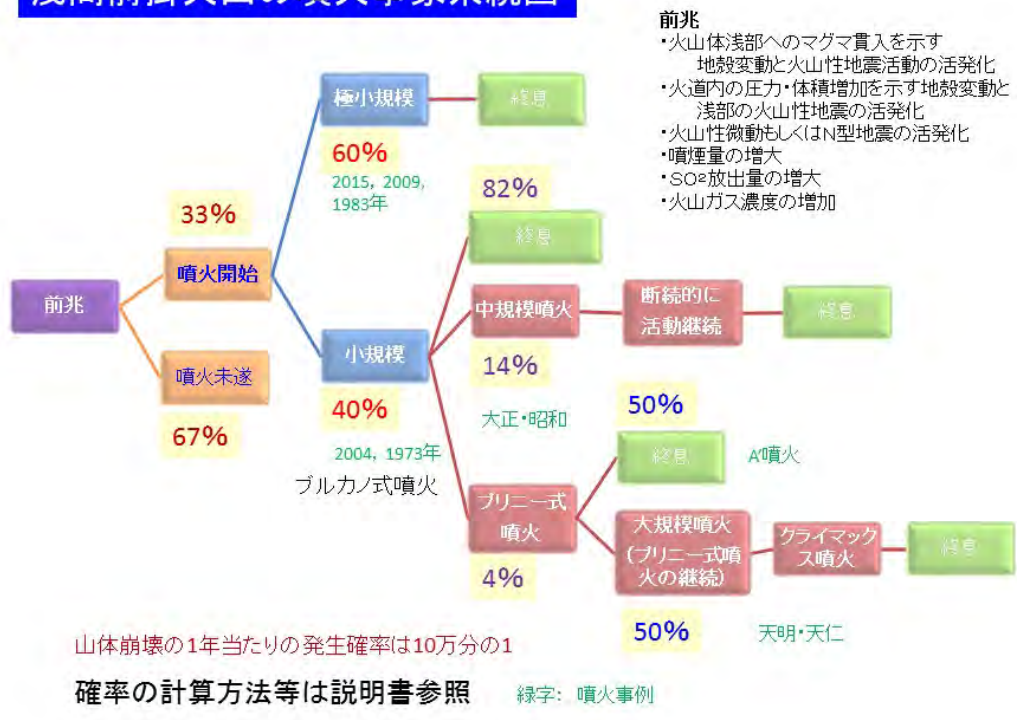


図4. 浅間火山(前掛火山)噴火事象系統樹.

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

津波浸水域の即時予測手法開発のための研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

現在の津波予測は沿岸での津波の高さを予測するもので、陸上の遡上した津波の浸水範囲や陸上での津波高を予測するシステムになっていない。気象庁では様々な断層モデルから計算される沿岸での津波波高をデータベース化し津波の高さ予測を実施している。さらに、沖合で観測された津波波形から沿岸での津波波高を予測する手法の開発も研究されてきた。上記のような手法の開発は、近い将来数多く設置される沖合のケーブル式津波計や GPS 波浪計による津波観測データを使用して津波予測を実施する上で非常に重要になる。

2011 年東北地方太平洋沖地震で発生した大津波のように沿岸から 5 ～ 6km まで津波が浸水し被害を起こす場合には、津波の正確な高さを予測するよりも、津波の浸水範囲を予測する事が災害を軽減する上では重要となる。しかし、陸上を遡上する津波を津波数値計算で精度良く再現するためには、ある程度の計算時間が必要となり、地震発生時にリアルタイムに津波数値計算を実行しては、到達するまでに津波浸水範囲の予測を出す事は難しい。本研究課題は上記の問題を解決し、リアルタイムで津波の浸水範囲を予測する手法を開発する。さらには、ケーブル式津波計データ等も使用し、津波の浸水予測をリアルタイムで改善していく手法を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度

2011年東北地方太平洋沖地震の津波浸水域をデータとしてそれを津波が到達する前に精度良く予測することを目標として津波の浸水範囲予測手法を開発する。この手法の基礎は平成25年度までに開発されているものを使用するが、実際に発生した津波に対して、適用することで、データベースの量や、海域の計算地点の分布等最適な津波浸水範囲をできる限り短い時間で予測するための基礎的研究を実施する。

平成27年度

平成26年度の基礎的研究を継続する。さらに、気象研究所・東北大学・東京大学地震研究所・防災科学技術研究所等で開発中の、海底津波計やGPS連続観測記録等を用いたリアルタイムで震源過程や海面変動を推定する手法と連動して、各地域での津波の浸水範囲を予測する手法を開発する。それらの有効性を評価する。

平成28年度

平成27年度までの研究開発を継続しながら、それまでに防災科学技術研究所での設置が完了しているケーブル式海底圧力計のデータを利用した津波浸水範囲予測手法の開発を行う。

平成29年度

平成28年度までの研究開発を継続しながら、対象域を北海道太平洋沿岸にも拡大し、沿岸主要地域での津波浸水予測データベースを作成し、その有効性を確かめる。

平成30年度

研究開発を行った全てのリアルタイム津波浸水域予測手法を統合し、さらにそれらの浸水範囲予測情報を発信するための手法の開発も実施する。

(8) 平成28年度の成果の概要：

ケーブル式津波観測網(S-Net)を利用した即時津波予測手法の開発

防災科学技術研究所は日本海溝・千島海溝に沿って約125の津波計(圧力計)と地震計がケーブル式ネットワークシステム(S-Net)として設置中である。震源域直上近傍にS-Netのように密な海底圧力観測網があれば、地震の震源過程や波源を推定せずとも、直接観測波形データから津波数値計算を開始する新しい手法を開発することが重要だ。ここで問題となるのが、震源域直上の海底圧力計の場合、地震による海底地殻変動により海底圧力計も隆起または沈降するため、実際の海底変動(津波初期波形)が記録できないことにある。昨年度はそれを解決する手法の開発に成功した、本年度はその手法を2011年東北地方太平洋沖地震の津波に適用し津波浸水域の予測を試みる。震源モデル(Gusman et al., 2012)を用いて津波を計算し(図1)その津波が約30km間隔に設置された場所(図2赤丸)で津波計算波形を出力した。その波形を用いて新しい手法で震源域での津波波高分布を推定し、その波高分布から津波を計算した。図2には震源モデルから直接津波を計算した結果と30km間隔の観測波形から計算された波高分布を比較する。短波長の津波はやはり上手く再現できていないが、長波長の津波は上手く再現できていることが分かる。さらに、Gusman et al., (2014)の手法(図3)を用いて山田・釜石・陸前高田・南三陸・仙台平野での津波浸水域及び浸水高の予測を試みた。南三陸では津波浸水域・遡上高とも上手く予測できているのが分かる(図4)。他の地点でもある程度上手く予測できることが分かった。つまり、2011年東北地方太平洋沖地震の発生前に30km間隔の海底圧力観測が実施されていれば、本手法とGusman et al.(2014)の手法を用いることで、地震の破壊過程終了後2-3分程度で津波浸水予測が出来ていたことになる。

遠地津波に対するデータ同化による津波予測

2012年ハイダグワイ巨大地震(Mw7.8)がカナダ太平洋沖で発生し、その津波が太平洋を伝播した。当時米国オレゴン沖には10kmから50km間隔で海底地震計が設置されていた(図5)。これらの地震計網には海底圧力計も搭載されていたため、津波波形を観測することが可能となった。これらの津波波形をデータ同化により津波の伝播を直接計算するMaeda et al. (2015)の手法を用いて津波伝播を予測した(図6)。震源モデルから計算される津波と観測波形からデータ同化により計算される津波を比較すると、観測網に入った津波は多くの観測点を通過する毎に再現性が良くなっている様子が良

く分かる。遠地の津波に対して観測波形のみを用いたデータ同化による津波予測がオレゴンの沿岸に到達するところには非常に上手く行っていることが良く分かる。津波即時予測の有効性が十分に確認された。

- (9)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Gusman, A.R., A. F. Sheehan, K. Satake, M. Heidarzadeh, I. E. Mulia, and T. Maeda, Tsunami data assimilation of Cascadia seafloor pressure gauge records from the 2012 Haida Gwaii earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL068368 (2016).
谷岡勇市郎・A.R.Gusman, 海底圧力観測波形から直接津波数値計算を実施し即時予測を行う手法開発 - 2011 年東北地方太平洋沖地震により発生した津波への適応 -, 日本地球惑星連合大会 (2016)
Gusman, A.R., A. F. Sheehan, K. Satake, M. Heidarzadeh, I. E. Mulia, and T. Maeda, Tsunami data assimilation of Cascadia seafloor pressure gauge records from the 2012 Haida Gwaii earthquake, 日本地球惑星連合大会 (2016)

(10)平成 29 年度実施計画の概要 :

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名 :

谷岡勇市郎・西村裕一・伊尾木圭衣

(北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター)

他機関との共同研究の有無 : 有

佐竹健治・Aditya R. Gusman (東京大学地震研究所)・対馬弘晃 (気象庁気象研究所)

参加機関 東京大学地震研究所、気象庁気象研究所

(12)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話 : 011-706-3591

e-mail : isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL : <http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/>

(13)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 谷岡勇市郎

所属 : 北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター

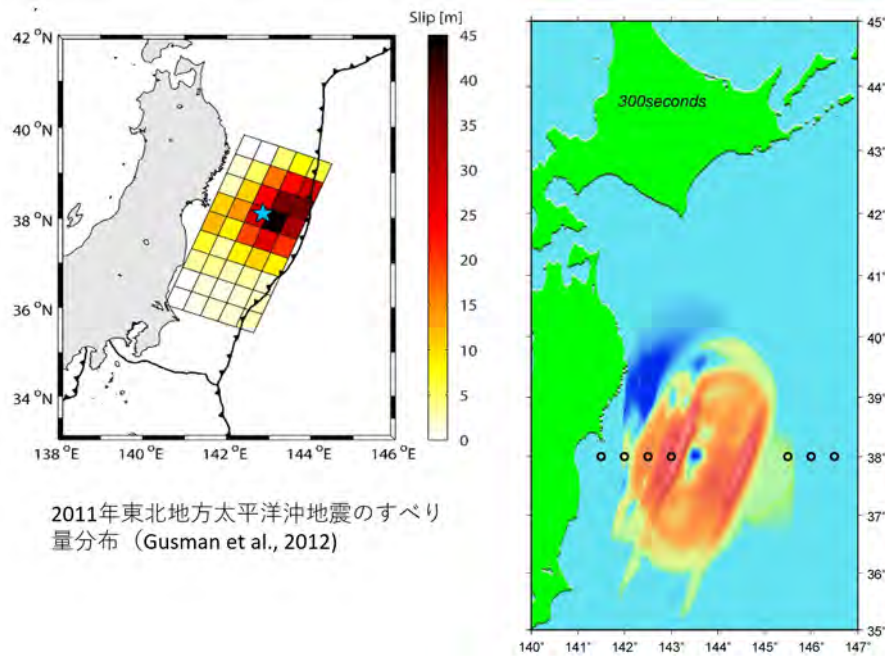


図 1

左) 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり量分布 (Gusman et al., 2012)
 右) そのすべり量分布から計算された 5 分後の津波波高分布 .

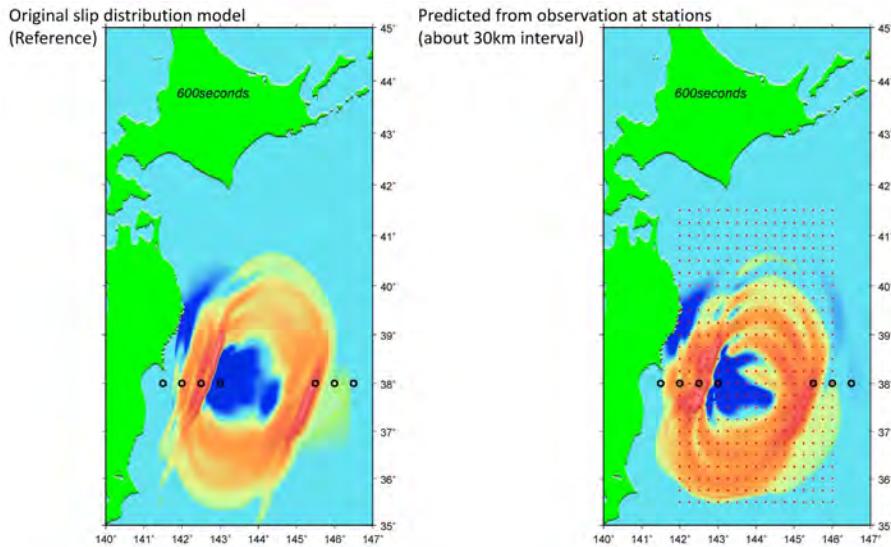
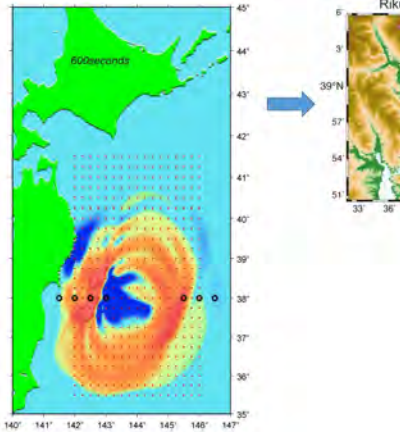


図 2

すべり量分布から直接計算された 10 分後の津波波高分布 (左) と 30km の観測点間隔の海底圧力計で観測される津波波高から計算された津波波高 (右) の比較

1) Real Time tsunami simulation



2) Search Engine

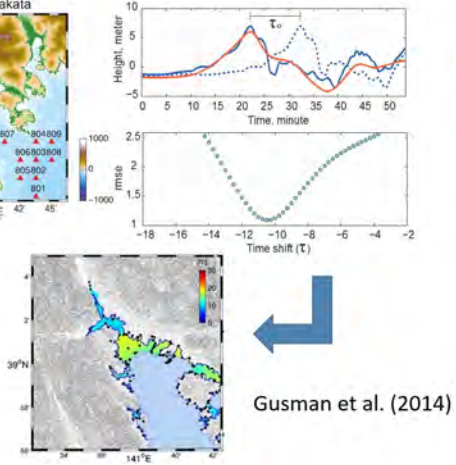


図 3

本手法により計算された津波から Gusman et al.(2014) の NearTif モデルを用いて津波浸水予測を実施 .

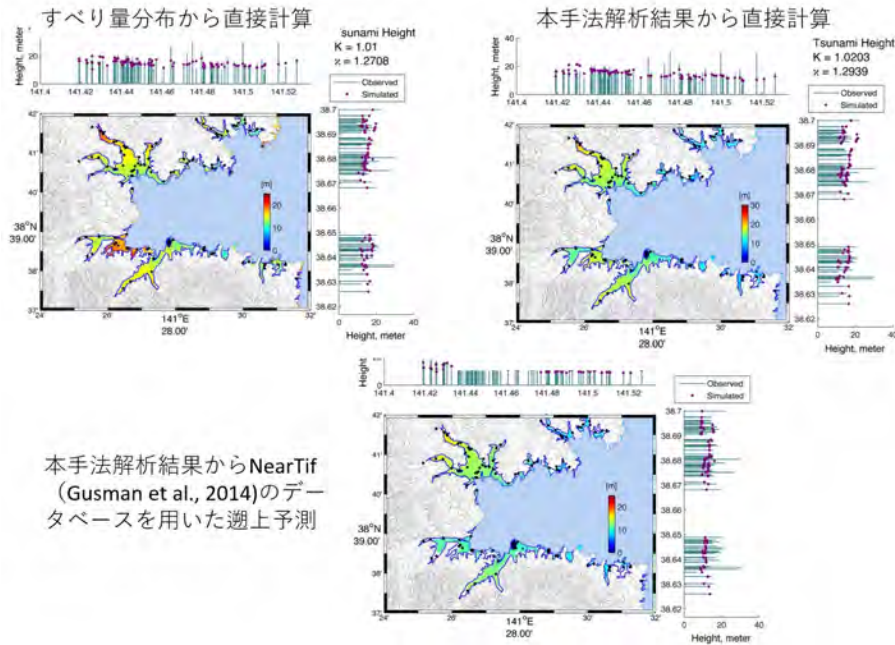


図 4

南三陸で調査された 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波遡上域と津波高と (左上) すべり量分布から直接計算された津波遡上の比較、(右上)、本手法により観測波形からの津波計算から津波遡上まで計算した結果との比較、(下) NearTif (Gusman et al., 2014) により予測された津波遡上結果との比較。

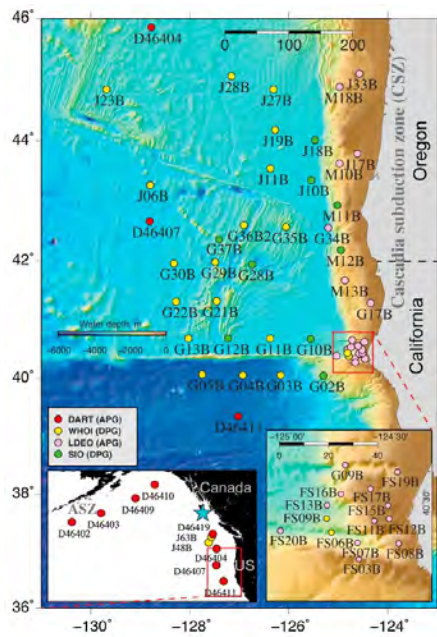


図 5

2012 年ハイダグワイ巨大地震 (Mw7.8) により発生した津波をデータ同化により津波伝播を計算するために用いた海底圧力計網 . Gusman et al. (2016) の Figure 1 より

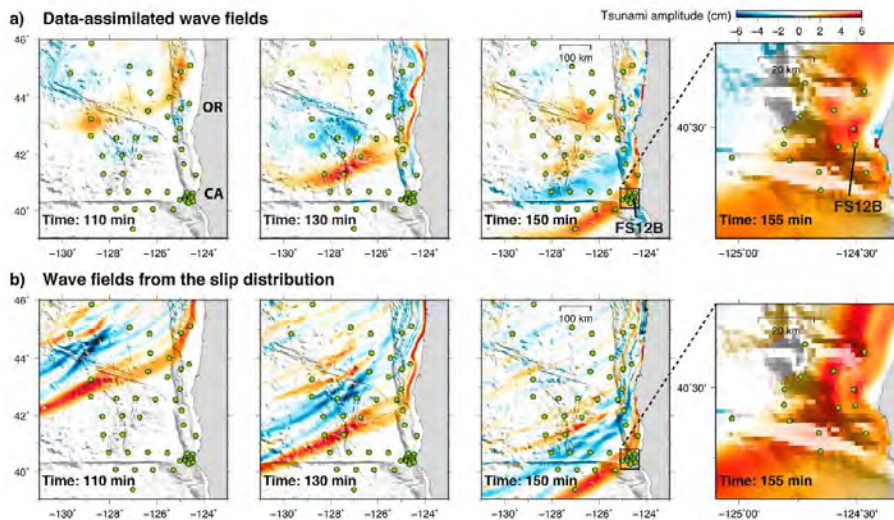


図 6

a) データ同化により観測波形から計算された津波伝播。 b) 断層モデルより計算された津波伝播。 Gusman et al. (2016) の Figure4 より

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地理空間情報の総合的活用による災害に対する社会的脆弱性克服のための基礎研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地理空間情報(G 空間情報) , GIS (地理情報システム) , 衛星測位 (GPS , 準天頂測位システムなど) に関して , 防災・減災への統合的な活用方法を開発する。本研究では , この高精度避難ナビゲーションシステムを含む防災・減災のための情報システム構築と , その活用方法開発を目指す。

上記で開発したシステムを援用し , 地域開発と自然災害リスクとの関係を分析し , その結果から災害に対する社会的脆弱性について , 人文社会科学と自然科学の両方の立場から議論を行う。特に , ここでは地方レベル , 市町村レベル , 町内会レベルというように空間スケールごとに分析を行ない , 各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにする。

上記の分析結果を受けて , 防災・減災の対策を情報流通の面から検討する。特に , 災害リスクを軽減させるために , 国 , 地方自治体 , 住民組織 , 住民個人の間で , どのような情報流通を行う必要があるか明らかにし , それによって「災害に対する社会的脆弱性 (Vulnerability)」克服のための可能性を探る。

また , 地域防災のための公開講座の開催 , 自治体防災担当者対象の講義の実施 , 自治体との相互協力協定にもとづく防災教育・地域貢献の実施等により , 最も効果的な研究成果の普及手法を探る。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年には , 災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報 , GIS , 衛星測位の統合的活用方法の開発を行う。また , 人口 , 土地利用など下記の分析に用いるデータ (特に地理空間情報を含むもの) の収集を行う。

平成 27 年以降は , 地域情報 (土地利用および人口等) と被害想定に関する時系列的分析 , 避難施設と避難圏域に関するデータの収集と分析 , 住民の避難行動に関するデータの収集と分析などを行う。平成 27 年度には , 北海道全域を対象に , 現在 , 北海道危機対策課が整備を続けている津波浸水想定データを用いて , マクロな視点による津波被害分析を行う。その際には地域情報 (土地利用および人口など) を GIS に取り込んで空間データベースを構築する。

平成 28 年度以降には、事例市町村を選定し、人口、土地利用、津波浸水想定だけでなく、避難施設と避難圏域に関するデータの収集と分析を行う。その際には避難施設や避難ルートなど、住民避難に関する地理空間情報も取り込み、空間データベースを構築する。この分析により、生活レベルのミクロな視点で、各自治体のもつ「災害に対する社会的脆弱性」に関する分析を行う。

これらの結果を受けて平成 29 年度以降は、町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析を行なう。なお、最後に各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにする。平成 29 年度以降は、上記の分析と並行して、自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行う。ここでは、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通に関して検討する。特に、災害リスクを軽減させるために、国、地方自治体、住民組織、住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか、自治体、住民などへの聞き取りから明らかにする。また、この情報流通を加速させる手段について、自治体と協力し実証実験を行う。以上の分析の成果を統合し、地域開発と災害に対する社会的脆弱性との関係を明らかにする。なお、災害の危険生が高い地域で積雪寒冷地の地域性を考慮した研究を行うために、積雪のある冬季と、積雪のない夏季の 2 時期で調査を行う。

全ての年度を通じて、地域防災のための公開講座の開催し、自治体防災担当者への講義を実施し、北海道大学理学研究院とえりも町との相互協定を利用したえりも町での防災教育活動・地域貢献を実施し、効果的な研究成果の普及手法を探る。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度には、津波想定域人口が北海道で最大となる釧路市を対象とし、人口、土地利用、津波浸水想定だけでなく、避難施設と避難圏域に関するデータの収集と分析を行った。その際には避難施設や避難ルートなど、住民避難に関する地理空間情報も取り込み、空間データベースを構築した。この分析により、生活レベルのミクロな視点で、各自治体のもつ「災害に対する社会的脆弱性」に関する分析を行った。

具体的には、本研究は積雪寒冷地における高齢者福祉施設の津波避難の現状と課題を運営面と移動面から明らかにした。その中で、釧路市の津波浸水想定が大幅に変わった東日本大震災以前と以後の津波避難対策の変化や、積雪期特有の津波避難の課題についても検討した。主要な結果は以下の通りである。

(1) 東日本大震災以降に新たに最大規模の津波を想定したシミュレーションが公表された。それに伴い、津波浸水域に立地する施設が 48 施設に増加した。その中でも、津波災害時に大きな被害を受ける可能性が高い浸水深 6.0m 以上の施設を研究対象とした(図 1)。そして、これらの対象施設周辺には低階層の工場や木造の住宅が多いため、近隣への迅速な避難が難しく、遠方へ避難する必要性が高いことが明らかとなった(図 2, 図 3)。

(2) 高齢者福祉施設では、要支援者より要介護者の方が多いため、や避難移動と待機時において、介助者不足が共通の課題であることが明らかになった(図 4)。そのため、避難移動では、自立歩行が難しい高齢者を車椅子で迅速に避難させることが困難となり、待機時では、体調管理や地域住民との関係性を維持するための十分な介助が行き届かなくなる。この状況を緩和するために、避難訓練の実施や周囲の人との協力体制の構築を行う必要があるが、多くの施設がこれを行えていない現状が明らかとなった。

(3) 積雪寒冷地の自然環境を考慮し、GIS でネットワークバッファ分析を行うと、歩行速度の低下で避難場所までの到達が極めて困難になることが明らかになった(図 5)。また、避難移動で積雪や路面凍結により車椅子が使用できなくなることや、待機時の防寒対策が不十分であることが課題であった。また、高齢者福祉施設では、非積雪期の津波避難の課題が山積しているが、これらの課題を検討し始めた段階であり、積雪期特有の津波避難の課題の十分な検討は行われていなかった。

(4) これらの課題を、同じ災害時要援護者である保育施設からの集団避難を扱った H26 年度の研究成果と比較検討を行った。その結果、高齢者特有の課題は、避難移動時では徒歩での避難が難しいこ

と、待機時では介助者不足であることがわかった。さらに、津波災害対策に関しては、高齢者福祉施設は、保育園と比べるとかなり遅れており、津波避難対策を早急に検討していく必要があることが明らかとなった（図6）。

以上の結果を踏まえ、高齢者福祉施設の津波避難に関する課題に対して、自治体から望まれる支援に関して考察すると、まず避難移動に関しては、歩行困難な高齢者が多いことと、それを介助する職員が不足することが大きな課題であり、これに対しては自動車避難が有効であると考えられた。次に、待機時に関しては、体調管理や地域住民との関係性の維持のための職員不足が大きな課題であり、これに対しては自治体があらかじめ高齢者が集団待機することができる場所を確保することが有効であると思われる。

要援護者の種類によって災害時避難の課題や必要な支援は大きく異なると考えられる。そこで高齢者だけでなく障害者や妊婦などの避難の課題についての研究を蓄積し、総合的な災害時要援護者の迅速で安全な避難対策の構築に貢献することを課題としたい。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

橋本雄一編, 2016, 四訂版 GISと地理空間情報 - ArcGIS10.3.1とダウンロードデータの活用 -, 古今書院, 180pp.

橋本雄一, 2016, 地域の防災計画にGISを活かす, 地理, 61(4), 18-25.

橋本雄一, 2016, 学界展望 - 数理・計量・地理情報, 人文地理, 68, 317-320.

橋本雄一, 2016, オープンデータとGISを活用し地域防災力を強化する, 測量, 33(3), 4-5.

橋本雄一, 2016, 空間と情報の地理学, 田山忠行(編)「空間に遊ぶ 人文科学の空間論」, 北海道大学出版会, 173-193.

橋本雄一, 2016, 災害とGIS, 関 孝敏・松田光一(編)「北海道南西沖地震・津波と災害復興 - 激甚被災地 奥尻町の20年」, 北海道大学出版会, 237-257.

奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一, 2016, GNSSを用いた津波集団避難行動に関する移動軌跡データ分析, 地理情報システム学会講演論文集, 25, CD-ROM.

塩崎大輔・橋本雄一, 2016, ニセコ町におけるICTを用いた除排雪車位置情報システムの運用と課題, 地理情報システム学会講演論文集, 25, CD-ROM.

塩崎大輔・橋本雄一, 2016, 地方自治体におけるICTを用いた除排雪車位置情報システムの課題, 情報処理学会研究報告「情報システムと社会環境」, 12, 1-6.

深田秀実・橋本雄一・沖 観行, 2016, 津波避難における個人行動シミュレーション分析の試み, 日本災害情報学会第18回学会大会予稿集, A5-3, pp.46-47.

(10) 平成29年度実施計画の概要 :

平成29年度は、町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析を行なう。なお、最後に各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにする。平成29年度以降は、上記の分析と並行して、自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行う。ここでは、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通に関して検討する。特に、災害リスクを軽減させるために、国、地方自治体、住民組織、住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか、自治体、住民などへの聞き取りから明らかにする。また、この情報流通を加速させる手段について、自治体と協力し実証実験を行う。以上の分析の成果を統合し、地域開発と災害に対する社会的脆弱性との関係を明らかにする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

谷岡勇市郎・村上亮・茂木透・大島弘光・高橋浩晃・勝俣啓・村井芳夫・橋本武史

西村裕一・青山裕・森濟・山田卓司

(北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター)

橋本雄一（北海道大学大学院文学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

参加機関 北海道大学大学院文学研究科

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：谷岡勇市郎

所属：北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター

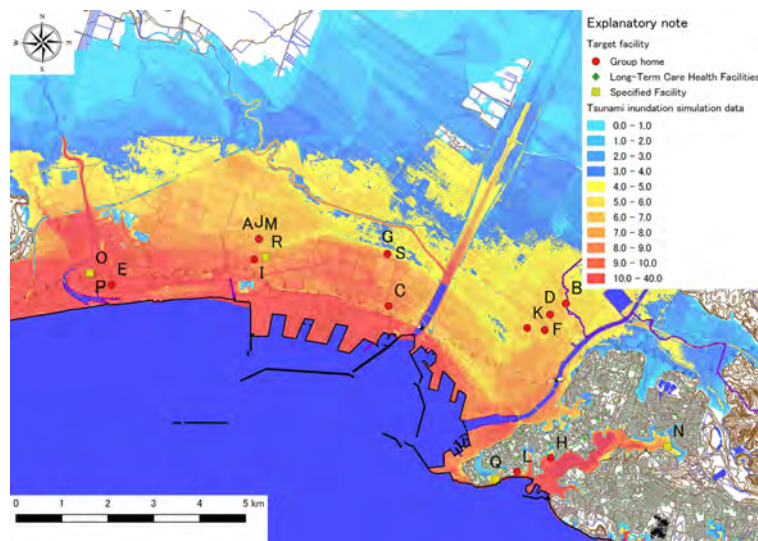


図1 津波浸水地域深度別の施設の立地

釧路市福祉部介護高齢課の「くしろ介護サービス事業所情報」と2012年津波浸水結果GISデータを用い作成.

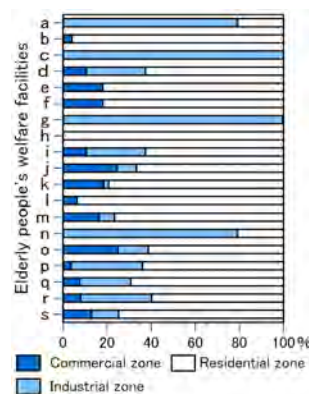


図2 施設周辺の用途別地域割合

都市計画基礎調査の建物データにより作成.

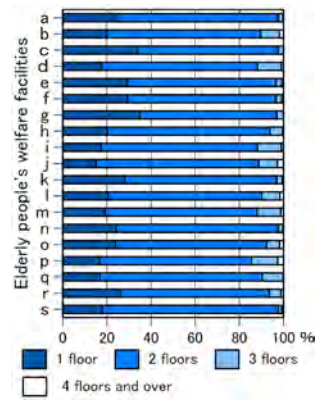


図3 施設周辺の階数別建築物の割合
都市計画基礎調査の建物データにより作成。

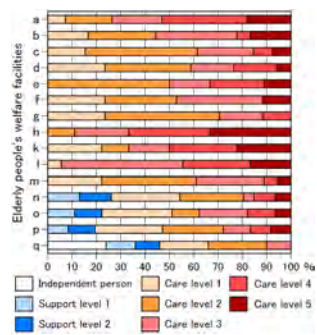


図4 施設の支援度別入居者の割合
聞き取り調査およびアンケート調査により作成

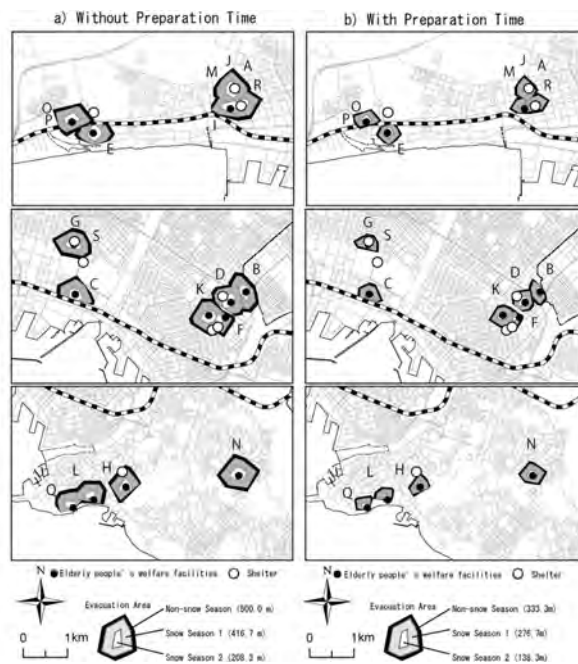


図5 積雪期の高齢者福祉施設の避難可能圏
積雪1期は路面凍結時，積雪2期は道路幅減少時。

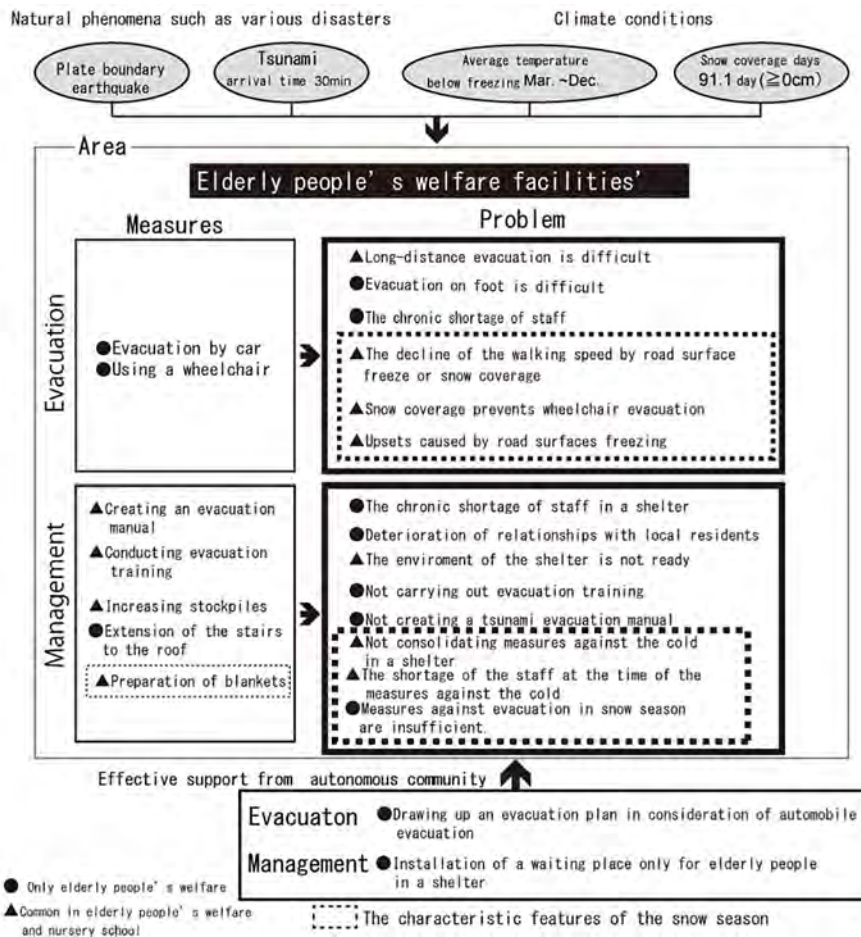


図6 積雪寒冷地の高齢者福祉施設における課題と求められる支援
聞き取り調査およびアンケート調査により作成。

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動等多項目観測データ全国リアルタイム流通一元化解析システムの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) 研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データを全国にリアルタイム流通させるシステムを開発し、データの流通・収集・管理・解析を一元的に行うほか、関連する技術研修を実施し人材育成を図る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データ全国リアルタイム流通一元化解析を実施するために、流通データ規格の策定や、流通システム開発、解析システム開発に関する基礎的な研究や実証試験を実施する。流通データを含めた各種データの一元的な管理にむけた環境整備を進める。人材育成のため観測・機器技術研修を実施する。

平成 26 年度においては、流通管理規格、解析技術、観測・機器技術研修等 WG によるデータ流通・解析等の技術的検討と研修計画策定を開始する。

平成 27 年度においては、流通規格案を策定するほか、データ流通の技術的検討と解析システムの設計概念をまとめる。観測・機器技術研修を実施する。

平成 28 年度においては、データ流通管理規格を決定し、データ流通の試験運用を開始するとともに、データの収集・保管を実施する。解析システムの開発を開始しプロトタイプを作成に着手する。

平成 29 年度においては、データ流通試験運用で明らかになった問題点の改良を行うほか、データの収集・保管を継続する。解析システムの開発を継続し試験運用開始を目指す。観測・機器技術研修を実施する。

平成 30 年度においては、データ流通の本格運用への移行を目指すとともに、解析システムの改良を実施する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

地殻変動連続観測等データの全国流通・公開を継続した。傾斜データ時系列表示の座標軸を任意の方向に回転できる機能を組み込んだ、歪観測値から面積歪を計算できるルーチンを実装した。また、CMT 解の情報から理論ひずみ波形を計算できるプログラムをシステムに搭載することで、遠地地震のひずみ地震動波形の観測値と理論値の比較が行える機能を加えた。

GNSS データ流通公開保存管理システムの本体の開発を開始した。本年度は、以下の機能について開発を実施した。観測データ管理機能、観測データフォーマット自動変換編集機能、データ品質管理機能、自動解析支援機能、解析結果表示機能等である。観測データについては、ファイルをアップロードするとともに、関係諸元情報の入力や、受信機・アンテナ情報の管理などが行える。なお、データ流通試験については、来年度以降にシステムのリアルタイム対応が出来次第実施することとした。オンサイト型データ解析技術の開発も進んでいることから、リアルタイム系の開発については引き続き情報収集を行う予定である。

昨年度から実施を延期したひずみ計測技術に関する研修を実施した。スーパーインバーを用いた研修用ひずみ計測装置を新たに製作し、実際の組み立てを行って、ひずみ計測の原理や感度検定などを直接学べる体制を整えた。学生や技術職員・教員など 20 名の参加があった。他機関設置のひずみ計・傾斜計の仕様について現地調査を行い、関係技術の集約化を図るための情報収集を行った。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

GNSS データ流通公開保存管理解析システムの開発を継続するとともに、試験運用を行い改良点などの検討を実施する。GNSS データのリアルタイム流通の技術的検討を進めるほか、関係する協定の発効に向けた手続きを進める。地殻変動連続観測等データの全国流通・公開を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター 高橋浩晃、山口照寛

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道立総合研究機構地質・環境研究本部地質研究所(岡崎紀俊)

自然科学研究機構国立天文台水沢 V L B I 観測所(田村良明)

東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知観測研究センター(三浦哲、太田雄策)

気象庁気象研究所(勝間田明男、小林昭夫、木村一洋)

東京大学地震研究所(加藤照之、新谷昌人)

神奈川県温泉地学研究所(里村幹夫、本多亮、原田昌武、道家涼介)

地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所(浅井康広)

名古屋大学大学院環境学研究所附属地震火山研究センター(鷺谷威、伊藤武男)

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター(山崎健一、森井互、加納靖之、西村卓也)

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設(柴田智郎)

高知大学自然科学系理学部門(田部井隆雄、大久保慎人)

九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター（松島健）
鹿児島大学理工学研究科地球環境科学専攻（中尾茂）

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋浩晃、大園真子、山口照寛

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

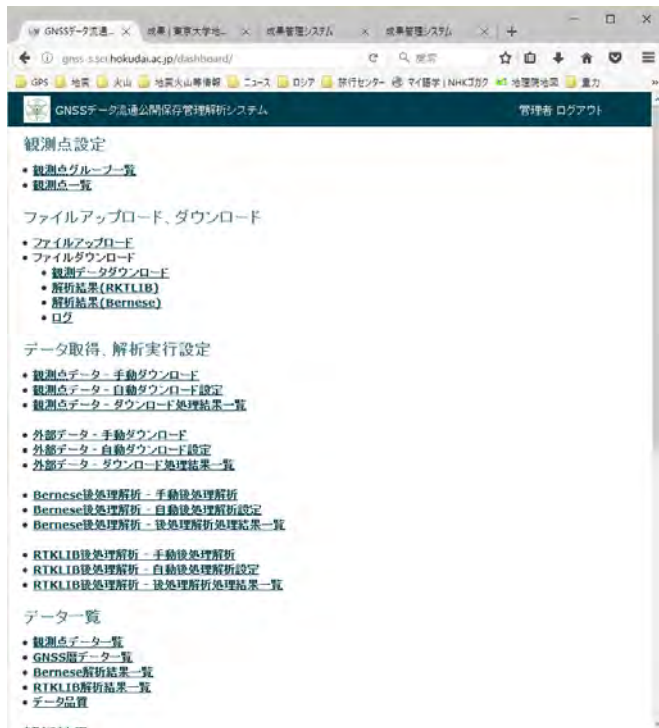


図1 . GNSS データ流通公開保存管理解析システムの表紙

GNSSデータ管理システム

ファイルアップロード

観測点諸元情報

MARKER NAME

OBSERVER

AGENCY

ANTENNA: DELTA H/E/N
 m m m

受信機名
TRIMBLE NETR9

アンテナ名
TRM57971.00

選択
参照... ディレクトリが選択されていません。

確認

図2 . GNSS システムへのデータアップロード画面

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

Lバンド 航空機 SAR による革新的火山観測手法の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、近年の技術進展が目覚ましい航空機搭載型の L バンド SAR を火山観測に応用するため、宇宙航空研究開発機構と共同して、革新的な観測・解析手法の開発を目標とする

< 振幅・偏波解析による定量的火山モニタリング >：

宇宙航空研究開発機構の航空機 SAR システムである PiSAR-L2 の高解像度散乱振幅および偏波に関する時系列データの数値的較にもとづく火山活動関連情報の定量的抽出手法を開発する。

< リピートパス干渉法の実現へのチャレンジ >：

PiSAR-L2 に装備済みの高精度 GPS-INS 航路追跡装置を利用した、航空機リピートパス干渉による地殻変動解析手法の開発をめざす。

< 地殻変動モデル化手法の高度化 >：

マグマ移動、火山性地震、地滑りなどが重畳する複雑な変動場を効果的にモデル化する手法を開発する

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では、実際に桜島および霧島火山群において、Pi-SAR-L2 による航空機 SAR 観測を実施し、取得したデータに基づきながら、高度な火山観測手法の確立を目指す。以下に、実施年度ごとの研究計画を示す。

なお、研究期間中に他の火山が顕著な活動を示した場合は、関係機関と調整の上、それまでの達成成果、予算執行状況等を勘案しながら、活動中の火山に観測対象を変更することも考慮する。

第 1 年次(平成 26 年度)

・Pi-SAR-L および Pi-SAR-L2 のアーカイブデータを利用した、定量的時系列解析手法開発のための予備的検討

第 2 年次(平成 27 年度)

・JAXA が単独で実施する観測(予定地域：桜島・霧島)、を利用したデータ解析

第3年次(平成28年度)

- ・JAXAによる前年次観測結果(予定地域:桜島・霧島)の高次解析
- ・モデル構築の試行

第4年次(平成29年度)

- ・第2回目観測実施(桜島・霧島)およびデータ解析
- ・第1回目および2回目観測結果を使用したDInSAR解析の実施と改善点の洗い出し

第5年次(平成30年度)

- ・DInSAR解析手法の完成と解析結果取りまとめ
- ・地殻変動モデル構築手法の完成と解析結果取りまとめ

(8)平成28年度の成果の概要:

1. 干渉ソフトウェアの整備: RINCの航空機SAR解析機能の向上

本課題では、研究担当者の一人である防災科研小澤拓主任研究員が開発しているRINCの(Radar Interferometry Calculation Tools, 最新バージョンは0.37)を利用して、干渉解析を実施する。H27年には、Pi-SAR-L2のデータをRINCへの入力を可能とするフロントエンドプログラムが完成し、Pi-SAR-L2の干渉処理が可能となり、解析を試行した。しかし、ペアによっては、軌道間距離が十分近接しているにもかかわらず干渉が得られないものがある等の課題が残っていた。本年度は、引き続き干渉性を向上させるための機能改良を実施し、主画像(master)と従画像(slave)の詳細位置合わせ(co-registration)の確実性の確保が、干渉を獲得するための主要な要因であることを突き止めた。この発見に基づき、RINCの該当部分の機能を拡張し、動作性能を向上させたことにより、昨年度の段階では干渉が成立しなかったペアについても、干渉性を獲得することに成功した。

2. 2015年の貫入イベントを挟む桜島航空機SAR干渉処理

2015年の貫入イベントを挟むデータとして、2014年8月7日と2015年12月9日に桜島付近の上空から取得されたデータについてJAXAから提供を受け、H28年度はこれらのデータを解析した。データは、南西から北東方向への飛行航路、および、その逆方向の飛行航路から取得されており、2方向からの観測の両方についてペアが成立する。航空機SAR用に機能拡張したRINC(Ver0.37)による実施した干渉処理果を図2に示す。

両方の軌道について、干渉は得られたが、全体として干渉性が良くないため、その原因を調査したところ、本来5mに品質管理されているべき軌道間距離が実際は、50m程度と規格外の大きな値を取っていることが判明した。図-3に、Pi-Sar-L2の軌道間距離(B_{perp})および干渉限界軌道距離(B_{crit})と入射角(5° から 70°)との関係を示す。軌道に近接した領域は、入射角が小さくなり、その結果として B_{crit} も相対的に小さくなることがわかる。そのため、軌道に近い領域では、何らかの原因で軌道間距離 B_{perp} が大きくなった際には、 B_{perp} が干渉限界の B_{crit} により早く近づき、干渉度が急速に悪化する。図-2の軌道2の結果にその影響が明瞭に現れている。

JAXAによれば、2015年の飛行時に軌道制御装置が不調であったとのことであり、軌道間距離が目標値に達していなかったのは、そのことが原因である可能性が高い。なお、2013年度と2014年度の観測の間では航跡間距離は数m以内であり、正常動作の場合の観測機搭載の航法システムの高い性能と、操縦を担当したパイロットの卓越した技量は確認済みである。

今回のペアは、2015年8月の貫入イベントを跨いでおり、衛星SARと同様の変動分布を航空機SARでも確認することをめざした。しかし、2015年観測において軌道間距離のコントロールが目標値を達成できなかったため、地殻変動発生地域では良好な干渉度が得られなかった。そのため、それ以上の地殻変動解析は断念した。

今年度の成果をまとめると、干渉処理プロセスに改良を加え、H27年度時には、干渉が得られなかった2013-2014の南行軌道ペアについて、RINCの機能強化により新たに干渉が得られるようになったことが大きな前進である。また、軌道間距離が目標値(5m)のおよそ10倍程度に劣化したペアでも、一部の領域に限定されるものの、干渉性が獲得できたことも、大きな成果であった。

これらの成果により、解析した4ペアの全てについて、何等かの干渉は得られるという実績が得られた。航空機は、横風などランダムに変化する大気の擾乱を受けながら飛行する。このため、航跡の直進性や速度の一定性が衛星より劣り、干渉成立の困難性が增大する。このような制約条件があるものの、ここまで研究を進めた結果、Pi-SAR-L2による繰り返し観測の干渉処理も、航路制御機器が正常に機能した状態で観測がなされれば、ほぼ100%の干渉が得られるレベルまで、干渉技術を高めることができたと考えられる。2014-2015のペアについても、航空機に装備されていたGPS機器の故障がなければ、2013-2014ペアに準ずる干渉性が得られていた可能性が高い。

3. 地殻変動把握に最適化した観測条件の選定

航空機 SAR は、衛星に比べて干渉成立の条件がより厳しくなるため、対象領域に最適化した撮影条件の設定が重要である。他方、航空機の場合は、撮影高度を除き飛行方向や水平位置を比較的自由に設定できるという、衛星にはない大きな利点がある。したがって、航空機 SAR 観測には、航路の設定の果たす役割が大きい。平成27・28年度の実際の解析結果の検討から、効果的に地殻変動シグナルを抽出するための、飛行経路の設定条件を2点明らかにすることができた。

最初の要件は、図-3で明らかなように、飛行経路からの距離が遠い領域のほうが、干渉条件が好適になるので、火口域等、変動発生領域がある程度特定できている場合の観測には、飛行経路は対象領域から距離を取った設定とすることが適切である。

次の要件は、Pi-SAR-L2と同じ機体を用いたPi-SAR-2を用いた、山岳地の強度解析結果から得られた知見(Furuya, et al. 2017)に基づくものである。彼らは、谷地形を航空機 SAR で観測する場合、多重反射によって虚像が発生し、同様の現象は位相分布にも影響を与えることが発見した。この現象が発生すると、地形による虚像を地殻変動と誤認する恐れがある。その発生を防止するためには、谷地形と直交方向に飛行経路を設定することが望ましい。ただし、想定される地殻変動が方向性を有する場合など、別の条件も、考慮される必要があり、経路の決定には、総合的な判断が求められる。

4. 火山性地殻変動のケーススタディー

火山性地殻変動には、マグマや熱水系の地下の移動を反映した変動以外にも、火山活度に誘発された断層運動、地表に形成された溶岩ドームの変形、地すべり、火砕堆積物の流動など、種々の現象が重畳している。観測で得られた変動分布の理解には、要素となるそれぞれの現象を個別にモデル化して、最後にそれらを統合する総合的なアプローチが必要となる。

本年度は、そのような複雑な現象の事例として、雲仙岳の平成ドームの変形および滑落現象を対象とした衛星データ解析を実施し、モデル化への必要条件を考察した。

1990-1991年噴火において雲仙普賢岳山頂に形成された溶岩ドームは、急峻な斜面上に厚い軟弱な火砕流層を挟んで、不安定に定置している。GPS、光波測量、地上設置型レーダーによる観測などによって、形成後から現在に至るまで、急斜面に沿ったドームの変形および滑落現象が発生していることが知られている。合成開口レーダー観測は、変動の空間分布の把握に長所がある。航空機 SAR データのモデル化の参考とするため、ALOS-PALSARの2006-2011間、およびALOS2-PALSAR2の2014-2016間のデータを用いて変動解析を実施した。

ALOS2による観測結果の一例を図-4に示す。ALOSの解析結果を含めて以下の特徴が明らかとなった。

- (1) 変動はほぼ等速度で進行している可能性が高い。
- (2) 東側の斜面では、東向きの滑落が卓越している。
- (3) 変動領域は、地表に表出している溶岩ドームを取り巻く領域にも広がっており、溶岩ドームがブロック状に滑落する単純な現象ではない。

多方向からの観測が可能な航空機 SAR では、さらに詳細な変動分布が得られる期待があり、それらの情報を十分説明するモデル作成の観点からは、3番目に掲げた、単純なブロック的滑落では説明できない現象が天然の火山で実際に進行している事実が重要である。このような複雑なメカニズムの十

分な理解のためには、ドームを支持する火砕堆積物の粘性及び流動特性を考慮に入れた解析が重要であり、例えば、有限要素法による流体計算を適用した解析などが必要であると考えられる。

5. H29 年度に実施する観測対象地域の選定および観測条件の検討

平成 29 年度は、JAXA との協力の下、本研究の枠組みに基づく Pi-SAR-L2 観測を 1 回実施する予定である。

今年度までの成果を集約して、観測地点の選定及び観測条件の検討を実施した。最終的に、桜島および霧島の一括観測を第一優先度に設定することを結論とした。理由は、以下の通りである。

(1) Pi-SAR-L2 により過去の撮影頻度が高く、データアーカイブが充実している。

(2) 近年の火山活動が活発で、衛星 SAR による変動実績がある。

(3) 変動領域が過大でなく、航空機 SAR の観測幅に十分収まる。

特に、図-5 に示すように、桜島においては、2015 年の貫入イベント後も、収縮性の変動が現在に至るまで継続中であり、若干振幅が小さいものの、上空の風向きなどの飛行条件が好適で、安定した干渉が得られれば、シグナルとして捉えられる期待がある。

また、雲仙普賢岳と阿蘇火山は、航空機の航続距離に比較して比較的近接して立地しており、以下の理由で観測の意義が認められるため、当日の燃料の余裕等が生じ、追加的な観測が可能となった場合の候補として、JAXA と協議において検討する。

雲仙岳：Pi-SAR-L2 の過去観測データがないため、今回観測しても、干渉データは得られないが、一方、急峻な地形のドームの状況を強度画像から把握する意義があり、また、将来の干渉ペア形成のためのベースラインを設定する。

阿蘇火山：過去のデータアーカイブが充実しており、熊本地震に伴う各種の変動の把握が期待される。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Masato FURUYA, Kotaro FUKUI, Hajime IIDA, Shoichiro KOJIMA and Takeshi MATSUOKA, Experimental Observations of Two Mountain Glaciers on the Eastern Slope of Mt. Tsurugi by Pi-SAR2 Airborne SAR, Bulletin of Glaciological Research, 2017, in press, doi: 10.5331/bgr.16R04

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

1. 桜島・霧島における航空機 SAR 観測実施と解析の実施

JAXA と協力して、本課題が主体となった、桜島・霧島を対象とした Pi-SAR-L2 を実施する。ペアの可能性のある過去データの提供を受け、既に、GPS や ALOS2 等の他の観測によって存在が確認されている地殻変動の検出を変動把握の可能性のあるペアに対して、試みる。

2. 干渉性向上を目的とした手法の改良

本年度の研究において、かなりの程度改善されたが、軌道の不安定さに起因する干渉劣化が残存している。干渉性を向上させるための解析をさらに継続する。

3. モデル化の高度化

雲仙普賢岳で明らかになった、流動的な現象に対応するためのモデル作成手法の検討をさらに進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学(村上亮, 古屋正人)

東京大学地震研究所(青木陽介)

京都大学防災研究所(高田陽一郎)

防災科学技術研究所(小澤拓)

他機関との共同研究の有無：有

宇宙航空研究開発機構 代表者：島田政信

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
電話：011-706-3591
e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp
URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：村上 亮

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

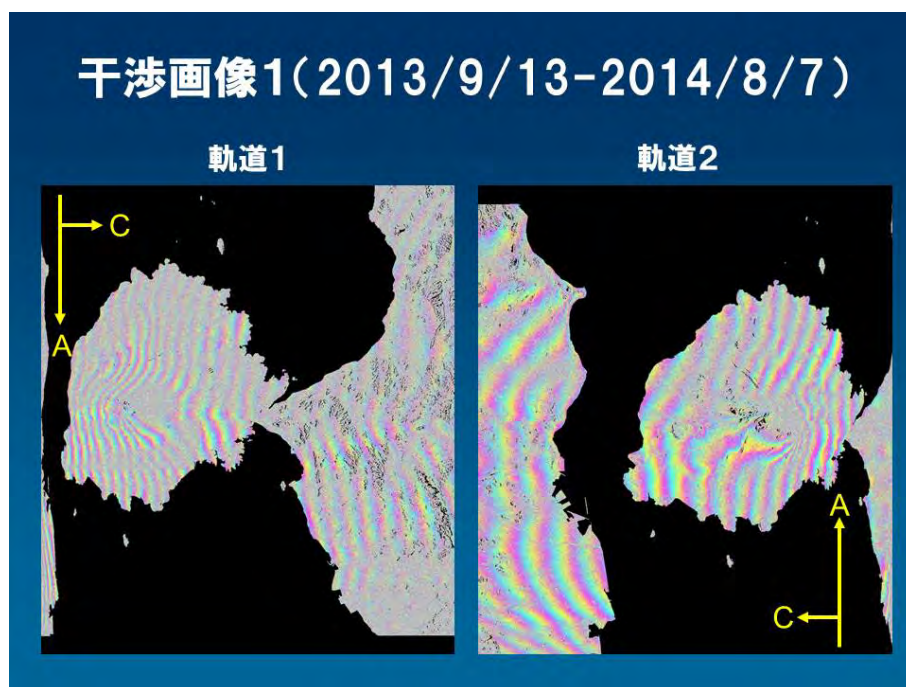


図-1 機能拡張を施した RINC による桜島の干渉結果 .

従来は、南西から北東に飛行した軌道 2 のみ干渉が得られ、逆方向からの軌道 1 の干渉処理には失敗していたが、機能拡張により、両方の軌道の干渉が得られるようになった .

干渉画像2(2014/8/7-2015/12/9)

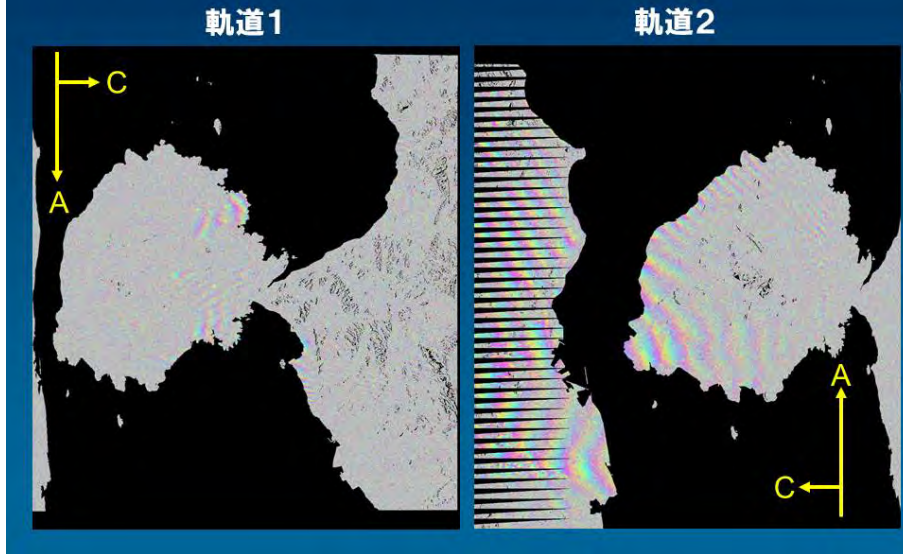


図-2 2015年8月の貫入イベントを挟むペア(2014/8/7-2015/12/9)のRINCによる干渉結果
対向する2つの軌道(軌道1および軌道2)の両方について、干渉が得られているが、干渉領域は画像内の一部に
限定されている。

軌道間距離 B_{perp} と B_{crit} (干渉限界軌道距離)

軌道1		軌道2	
観測日	B_{perp}	観測日	B_{perp}
2013/9/13	4m	2013/9/13	-2m
2014/8/7	55m	2014/8/7	-62m
2015/12/9		2015/12/9	

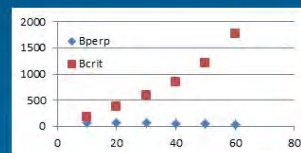
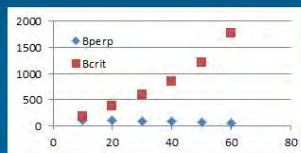


図-3 Pi-SAR-L2における軌道間距離 B_{perp} および干渉限界軌道距離 B_{crit} と入射角の関係。
入射角が小さい軌道に近接した領域ほど B_{crit} が相対的に小さくなるため、軌道間距離 B_{perp} が大きくなった場合
の干渉劣化の度合いは、軌道に近接した領域において特に深刻になる。

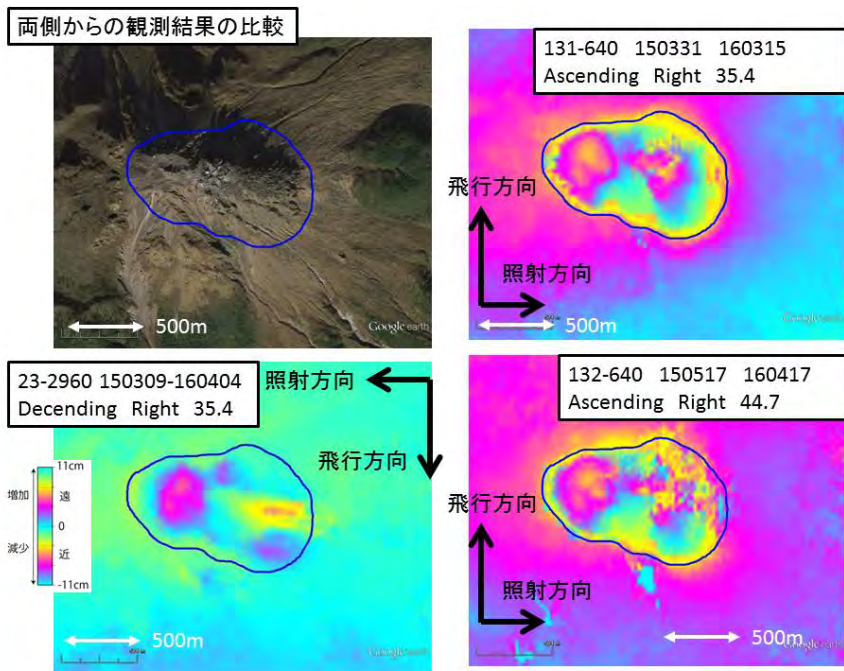


図-4 雲仙普賢岳溶岩ドーム周辺の地殻変動

左上, GoogleEarth による対象領域の空中写真. 右上, 西側上空から観測した 2016 年熊本地震前のほぼ一年間 (20150331-20160315) の変動分布. 左下, 東側上空から観測した, 2016 年熊本地震前のほぼ一年間 (20150309-20160404) の変動分布. 右下, 西側上空から観測した 2016 年熊本地震を挟むほぼ一年間 (20150517-20160417) の変動分布.

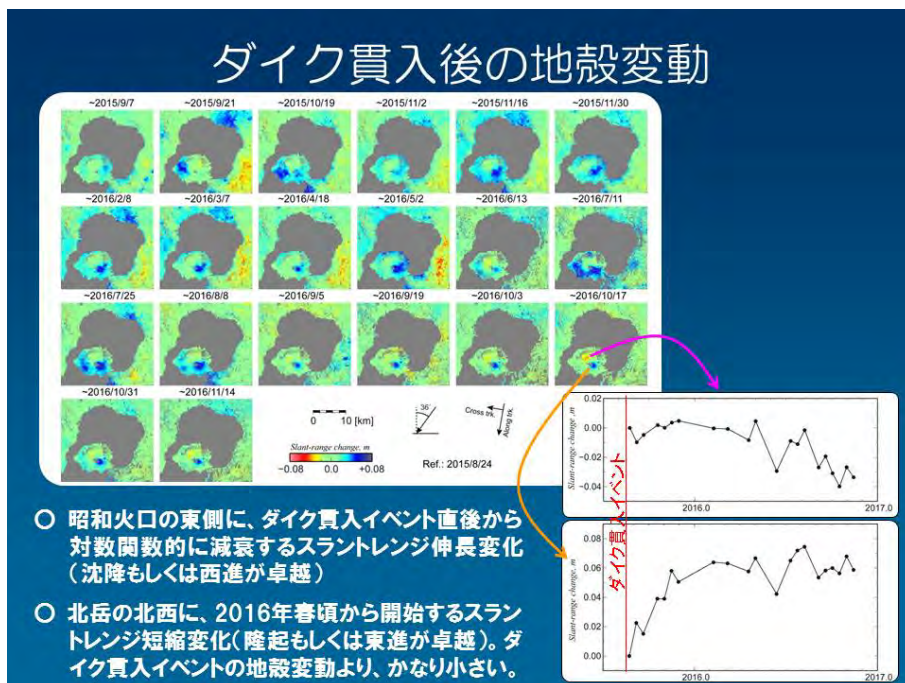


図-5 2015 年ダイク貫入後の桜島の地殻変動分布. ダイク貫入後も, 地殻変動が継続している.

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

準リアルタイム火山情報表示システムの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山防災対策は噴火警報等を起点とした避難等の予防対策に始まり、噴火後は被災者救援や二次災害防止等の応急対策に移り、活動が沈静に向かうにつれて避難解除、更に将来の噴火も見据えて復旧・復興対策が進められる。これら一連の対策のなかで、噴火前兆期や噴火活動期に展開される対策は活動推移に左右され、対応を誤ると被害を拡大させるが、その起点となる噴火予測や活動の推移予測の技術は研究・開発途上にある。

一方、国の IT 化推進によって数々の観測情報が(準)リアルタイムに取得できるようになってきた。これらは地方自治体における噴火前兆期や噴火活動期の減災対応において、未確立な予知技術を補完する有用な情報になりえる。

本課題では、火山情報などの防災情報とリンクするインターネットを通して入手可能な関係機関の各種観測情報の準リアルタイムな収集と統合表示を通して、地方公共団体が現況を総合的に把握し、的確な防災対応を行うための支援システムを構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

開発研究にあたってはシステムをハコモノ化させないために、情報の受け手として、国内初のハザードマップを作成するなど火山防災において先導的な役割を果たしてきた道内火山周辺の自治体を協力機関に加え、共同して実用的なシステムを目指す。

平成 26 年から平成 28 年までの前半 3 年間は、開発システムを協力自治体に展開し、協力自治体の意見を反映しつつ、事務機の PC でも稼働するマルチプラットフォームで、関係機関のインターネット上のサーバーに負荷をかけない二次サーバー機能を有したシステムにまで機能拡張を進める。

後半の平成 29 年から平成 30 年までの 2 年間は、システムに潜む不具合等を修正しつつ、運用上の課題と解決策、更に実用化への方策について検討する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

今年度は、リニューアルされた国交省「川の防災情報ページ」や、気象庁の「土砂災害警戒判定メッシュ情報ページ」、「火山カメラのページ」に対応するためにプログラムの修正が必要になった。これにあわせて、取得情報の追加、国土地理院のタイル地図の採用など GUI の改良、地震等のリアルタイム表示用の簡便なサーバープログラムの開発を行った。更に運用に必要なツール群が揃ったことからプログラムのパッケージングを行ったほか、それを配布するためのホームページを開設した。最新バージョンで取得・表示可能な情報は、火山関係が 8、気象警報が 11、これに汎用掲示板を加えて総計で 19 である。

一方、4月に熊本地震が起こり、8月には相次いで台風が北海道に襲来し、11月には倶多楽火山地獄谷で異常地熱活動など開発システムの有効性を評価するための事件がおこった。また、10月には十勝岳望岳台に新設されたシェルターに開発システムが導入されるなど活用も進んだ。開発システムの導入機関は道内が 22 機関、道外が 1 機関となった。

設置機関における 4 月から 6 月中旬までの活用例として、次の報告があった。

1. 強風波浪注意報が発令された際、たまたま表示していた潮位グラフ（潮位観測情報）で観測潮位が天文潮位より 60cm 以上も高いことに気づき、状況確認に海岸に出向いた。

2. リアルタイム地震波形記録に異常な地動を認めた 2 町では、震動源について地方気象台に問い合わせた。

前者は警報・注意報を裏付ける観測情報があればより効果的な警報・注意報になるという開発目的の正しさを示す 1 つの事例である。後者は、警報・情報の伝達のように一方的になりがちな気象台と自治体の関係を双方向に向かわせる、いわゆる「顔の見える」関係構築の切掛けをつくったと言える事例である。

この他、いくつかの市長村から不具合の報告があり、日常的な「チラ見」が伺われる。異常を異常と認知するには平常を知ることが不可欠であり、防災担当者に平常を知る機会を与えるという開発目的も成功していると思われる。

警報・情報の受信者である自治体は住民へ発信者でもある。住民に適切な避難行動を促すには、自治体が警報・情報に込められた危機感・切迫感を理解し、それを住民に的確に伝えることが必要な要素の一つである。数少ない事例は危機感・切迫感を理解するために、このシステムが有効なツールになりえることを伺わせる。

システムの想定外利用であったが、熊本地震のなかで 16 日 1 時 25 分に起こった最大規模の地震で被災し、観測機能を喪失した阿蘇火山センターの機能復帰にあたって、緊急的な地震モニターとしてシステムを使用できた事は特記される。

これは被災から免れた或いは早期に復旧した低速な携帯回線にシステムが対応していたことによる。意識していたわけではないが、今回のことは防災情報など防災に関係するシステムは災害に強いインフラの上に実装しなければならないことを再認識させた。

また計画では火山災害だけを対象としていたが、ラジオから流れる地震情報は地震情報の取り込みの必要性和実装上のヒントを与えてくれた。海溝型の地震情報は、地震を感じた人にとって避難行動の切掛け或いは安心情報になる。これに対して頻発する内陸地震では、火山噴火と同じように、個々の地震に対する情報よりむしろ地震活動の時間的な推移に感心があるように感じた。地震情報の表示を工夫し、システムへの実装を検討したい。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
大島弘光・宮村淳一・棚田俊収, 2016, 準リアルタイム火山防災情報表示システムの開発, 日本火山学会 2016 年度秋季大会講演予稿集, 63.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

今年度起こった防災対応で明らかになった GUI の不備を改良するほか、これまで通り、協力自治体からの不具合の報告やシステムに対する提案に対応する。また活用実績の集約を進めるほか、協力

機関とともに実用化への方策について検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

大島弘光 (地震火山研究観測センター有珠火山観測所)

他機関との共同研究の有無 : 有

気象庁地震火山部 宮村 淳一

(独) 防災科学技術研究所 地震防災研究ユニット 棚田 俊収

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震火山研究観測センター有珠火山観測所

電話 : 0142-66-4011

e-mail : oshima@uvo.sci.hokudai.ac.jp

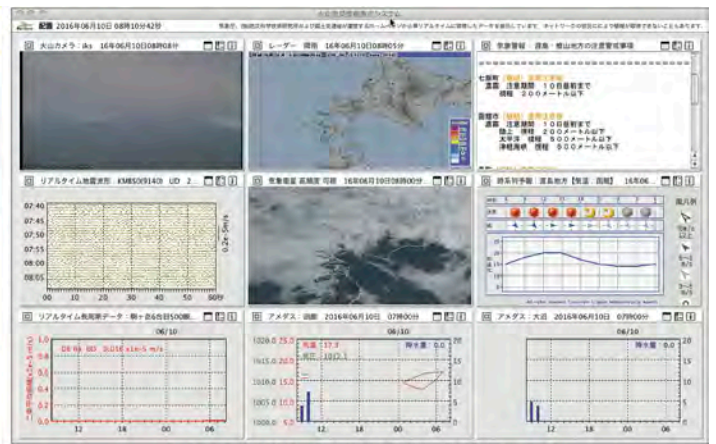
URL : <http://uvo4.sci.hokudai.ac.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

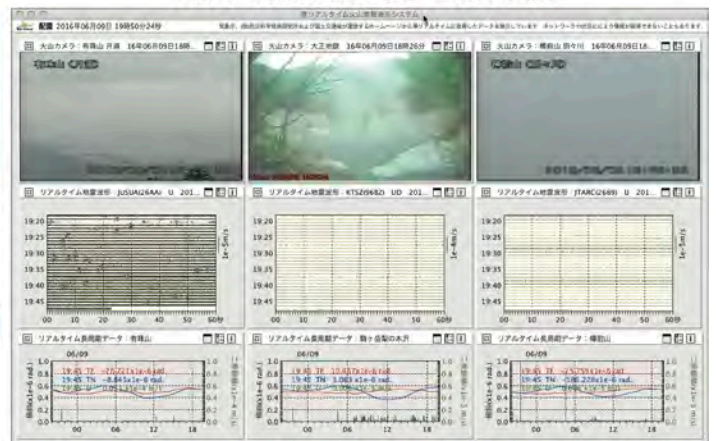
氏名 : 大島弘光

所属 : 北海道大学大学理学研究院地震火山研究観測センター有珠火山観測所

火山	市町村	地方気象台
恵山	函館市	函館地方気象台
北海道駒ヶ岳	森町	
	鹿部町 七飯町	
有珠山	伊達市	室蘭地方気象台
	洞爺湖町 壮瞥町	
倶多楽火山	登別市	
	(白老町)	
樽前山	(白老町)	旭川地方気象台
大雪山	美瑛町	
十勝岳	美瑛町	
	上富良野町 新得町	
雌阿寒岳	足寄町	釧路地方気象台
	釧路市	
アトサヌプリ	北海道	札幌管区気象台
雌阿寒温泉	登別パーク サービスセンター	



七飯町（北海道駒ヶ岳）の表示画面



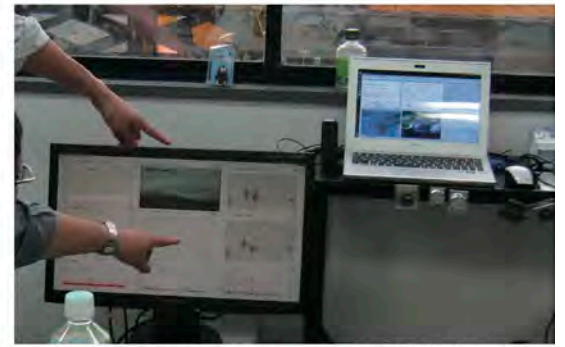
室蘭地方気象台（有珠山、倶多楽、樽前山）の表示画面

図1. システム設置機関等一覧(左)と表示画面のスナップショット(右)

設置機関のうち、旭川地方気象台と登別パークサービスセンターのシステムは他と異なる。右上の市長村の標準的な表示画面には火山カメラ画像、リアルタイム地震波形、および RMS 振幅に加えて、利用頻度の高い気象情報が表示されている。右下：地方気象台の標準的な表示画面。管内火山のカメラ画像、リアルタイム地震波形および傾斜と二 RMS 振幅を表示している。



雌阿寒温泉玄関ホールの表示画面



阿蘇火山研究センターの大津仮事務所に緊急設置したシステムの表示画面

図 2 . 宿泊者・旅行者・登山者向けに雌阿寒岳温泉玄関ホールに設置されたシステムの表示画面（左）と阿蘇火山研究センター大津仮事務所に緊急設置したシステム（右）. 玄関ホールのシステムでは噴火警報/警戒レベルを表示しているほか、警報・予報には具体的な注意事項および緊急連絡先が加えられている. 大津仮事務所に設置したシステムはノート PC、携帯端末で構成され、外部ディスプレイには復旧した観測点のデータ、PC のディスプレイには気象情報が表示されている .

(1) 実施機関名：

弘前大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻流体と地震活動の関係及び過去地震の災害誘因の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

内陸地震の発生機構の理解のためには、地震発生域の構造やそこでの地震活動の特徴把握が重要であるが、最近は特に地震発生と地殻流体の関係が注目されている。そこで本課題では、2011 年東北地方太平洋沖地震の誘発地震発生域での精密な震源と震源メカニズム解の分布を求め、地震活動の移動現象と地殻流体との関係を明らかにする。また、流体の存在が確実である火山周辺において、火山深部・浅部低周波地震及び高周波地震の観測と解析を通して、低周波地震発生機構、地殻応力場や地震活動との関わりを明らかにし、地震火山相互作用の解明に資する。さらに、2011 年東北地方太平洋沖地震及びその余効変動による応力場の擾乱が地震・火山活動に及ぼした影響についても調べる。

建議では、工学、人文・社会科学分野と連携し、歴史学的な観点も加えて、防災や減災につながる成果を挙げることが求められている。そこで、17・18 世紀に M7 級地震が頻発した青森県の日本海沿岸と内陸地域を対象に、分野横断型の研究を実施する。自然地震及び微動観測データ、及び歴史資料に基づき、強震動が地形・地盤及び建造物の脆弱性とどう結び付いて災害を出現させたかを検討し、地震・火山災害の特性を社会環境の時代的变化に留意して理解する。また、地殻流体に関する知見も加え、地震テクトニクスの背景が共通する他地域での検証と比較し、災害誘因の解明を目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

(a) 地殻流体と地震火山相互作用に関する研究

東北地方北部の誘発地震発生域では、震源を精密に決定して震源移動を明らかにする。低周波地震発生域や、流体の存在が確実である火山周辺においては、波形相関を用いるなどして地震活動を詳細に把握する。また、これらの領域で、震源メカニズム解、地震波速度、地震波散乱強度、及び S 波偏向異方性の分布を求める。低周波地震に関しては、アレイ観測により低周波地震の後続波の起源を明らかにし、波形インバージョン等により発生機構の推定を行う。(平成 26~28 年度)

低周波地震発生域での場の特徴把握を基に、低周波地震の発生を地殻活動全体像の中で理解する。また、誘発地震、低周波地震、火山周辺の地震の震源分布や地震波散乱強度の時間変化を詳細に調べ、東北地方太平洋沖地震発生に伴う地殻の応答、流体の存在と移動、火山が存在することによる構造不均質のそれぞれが地震発生に及ぼす影響と、地震火山相互作用について検討する。(平成 29・30 年度)

(b) 過去の地震の災害事例の検証

青森県内の地震波速度構造・地震動距離減衰・地盤特性を自然地震観測及び微動探査により把握する。また、青森県の日本海沿岸と内陸で発生した歴史地震の研究を行い、社会環境の時代的变化に留意しつつ被害分布を再検討する。(平成 26~28 年度)

28 年度までに行った地震動距離減衰、地盤特性、及び被害分布の検討を基に、歴史地震の断層モデルの見直しが必要かどうかを検討する。また、歴史地震の分布や断層モデルを、(a)の地殻流体や(b)の地下構造に関する知見、及び同じ日本海東縁部で発生した 2004 年中越地震・2007 年中越沖地震の地震テクトニクスの背景を通して解釈し、災害誘因について検討する。(平成 29・30 年度)

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

(a) 地殻流体と地震火山相互作用に関する研究

(a-1) 誘発地震活動の時間変化

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生から 5 年以上が経過しても、東北地方内陸での誘発地震活動は依然として継続しているが、活動には時空間変化がある。この変化は誘発地震活動の原因を探る上での重要な情報となる可能性があるため、秋田県北部と南部での誘発地震活動の時空間変化を調べた。秋田県南部の大仙市周辺での地震活動は、2011 年には北部の森吉山付近よりも広範囲で活発であったが、時間とともに活動が低下してきている。一方、森吉山付近での活動度は全般的にはあまり時間変化していないが、震源のクラスターの消長がある。最も活発であった森吉山の北側のクラスターでの活動は 2015 年後半からやや低下し、2016 年からは森吉山の東に位置する新たなクラスターでの活動が活発になった。このクラスターでの震源の深さは 5 km 未満のものが多く、森吉山の北側のクラスターの震源に比べて系統的に浅いことが特徴である。これらの現象を、東北地方太平洋沖地震発生時の応力変化に起因すると考えることは困難である。誘発地震は流体の存在による地殻強度の低下によって発生し、地震活動の時空間変化は流体分布の時間変化を反映するというのが、一つの可能性として考えられる。

(a-2) 誘発地震の後続波の波形の時間変化

森吉山周辺地域においては、地震波の後続波の back-projection 解析から、地震波散乱体が森吉山の北西約 5 km、深さ 13 km 付近に存在するという結果を得ている。これは単独観測点での平均的な S 波エンベロープを用いた結果である。弘前大学では 2012 年 11 月から 2014 年 5 月までの期間、震源域周辺において 9 点の 3 成分地震計から成るアレイ観測を実施した。本年度は、そのデータのセンブランス解析から散乱体の位置推定を試みた。地震計の間隔で決まるナイキスト波長を考慮すると、解析可能な周波数は 8 Hz 未満である。散乱波は 16 Hz に卓越するため、解析対象の周波数帯域での振幅は小さく、散乱波のセンブランス値は高くない。しかし、センブランス解析の結果を震源に近い地震についてスタックすることで、散乱波の到来方向、見かけ速度、到達時刻を特定できることがわかった。

(a-3) 誘発地震発生域の異方性

森吉山地域では、臨時地震観測データを用いた S 波スプリッティング解析を 27 年度に行い、震源域直上の観測点と震源域から離れた位置の観測点では、速い S 波の偏向方向が系統的に異なることを見

出した。速いS波と遅いS波の時間差は0.015秒程度で、観測データのサンプリング間隔の3倍程度と極めて小さい。そこで、このような時間差が優位であるかどうかを確認するため、28年度にはサンプリング周波数1000Hzでの観測を震源域付近の2箇所において行い、そのデータを用いてスプリッティング解析を行った。その結果、上記の程度の時間差を有意な結果として求めることができ、高速サンプリングでの観測が地殻内の微細な異方性構造の推定に有効であることを確認した。しかし、27年度以前と28年度の観測点位置が異なることもあり、速いS波の偏向方向は必ずしも調和的ではなかった。この点についてはさらに検討が必要である。

(a-4) 深部低周波地震活動の時空間変化と波形の多様性

地殻流体と地震火山相互作用を考える上で、深部低周波地震は重要な研究対象である。27年度は、岩木山地域の深部低周波地震を対象に、震源位置と波形の対応関係を調査した。28年度には対象領域を増やして、波形相関による地震のグループ化、各グループに属する地震の震源分布、グループ間の波形の違い等を検討した。一般的な傾向として、低周波地震は震源が近くても波形の相関は高くないが、同一グループの地震は空間的にある程度まとまって分布することが判明した。

(b) 過去の地震の災害事例の検証

過去地震ではないが、2016年1月11日に青森県三八上北地方においてマグニチュード4.6の地震が、6月16日に北海道函館市の内浦湾沿岸においてマグニチュード5.3の地震が発生した。両地震とも比較的活発な余震活動を伴ったので、余震の震源分布をDouble-Difference法(DD法)によって求めた。

三八上北地方の地震は、活断層である折爪断層の西側で発生した(図1)。産業技術総合研究所の活断層データベースによると、折爪断層は走向N10°W、傾斜60°W、長さ40kmの逆断層であるが、平均活動間隔や最新の活動時期を示すようなデータは得られていない。DD法による震源は深さ8~10kmに分布し、西に40°程度で傾斜している。このことから、本震のメカニズム解の西傾斜の節面が断層面と考えられる。震源分布の傾斜角は活断層データベースによる傾斜角と調和的であるが、余震の震源域は、断層の地表トレースから40°の傾斜角で伸ばした面よりは深部に位置する。そのため、この地震が折爪断層の深部延長で発生したものかどうかについては、さらに検討が必要である。一方、内浦湾沿岸の地震は活断層の存在が知られていない領域で発生した。DD法による震源は深さ8~12kmに分布し、本震のメカニズム解の東傾斜の節面と調和的である(図2)。

地震被害には地表付近の地盤での地震動の増幅が大きな影響を及ぼす。地盤構造を具体的に評価するため、近接するK-NET観測点での地震動増幅率が大きく異なる青森県東北町地域において、臨時地震観測データも含めた解析を行い、K-NET観測点と臨時観測点の地盤構造を推定した。その結果、S波速度600m/sの層の上端の深さの違いが、地震動増幅率に影響を及ぼしていることが判明した。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
藤牧良太, 2017, 地震観測記録の分析による東北町周辺の地表付近の地震波速度構造の検討, 弘前大学大学院理工学研究科修士論文。

Kosuga, M., 2016, Fracture induced shear wave splitting in a source area of triggered seismicity by the Tohoku-oki earthquake in northeastern Japan, Proceedings of the 11th Asian Seismological Commission General Assembly.

小菅正裕, 2017, 東北地方太平洋沖地震後の秋田県内の誘発地震活動の推移, 東北地域災害科学研究, 53.

(10) 平成29年度実施計画の概要：

(a) 地殻流体と地震火山相互作用に関する研究

森吉山地域の誘発地震については、28年度に引き続き、センブランス解析による地震波散乱源の位置推定と、散乱波の波形の時間変化の解析を通して、散乱波が地殻流体を起源とするかどうかの解明を進める。S波スプリッティングについても、より広域的に長期間の解析を行うとともに、誘発地震

の震源メカニズムを決定し、波形変化、異方性、応力場を総合的に解釈する。

低周波地震に関しては、震源再決定と波形相関を用いたグループ化を引き続き行い、東北日本弧全体での特徴把握を行う。波形については異なる領域間の波形比較も行い、共通する特徴の抽出に努める。

(b) 過去の地震の災害事例の検証

津軽地方に大きな被害をもたらした 1766 年の地震 (M7 1/4) の震源断層は特定されていない。その被害域に含まれる津軽半島南部では、1972 年に活発な群発地震活動が始まり、その後の活動度は次第に低下したが、現在でも活動を続けている。この領域は活火山である岩木山の北東山麓にあたるので、地殻流体と群発地震、及び過去地震との関連が注目される。そこで、この領域を対象に、地震波形データを用いた DD 法での震源精密決定、地震波形に含まれる変換波を用いた構造推定を行い、上記の関連を検討する。また、D90 や S 波散乱構造から地震発生層や不均質層の厚さの空間変化を推定し、構造要因と被害の関係を検討する。さらに、下北半島地域での微動探査による地盤構造推定を継続して行い、S 波速度構造の推定精度を向上させる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

小菅正裕・渡邊和俊・片岡俊一・津村浩三 (以上弘前大学理工学研究科)

他機関との共同研究の有無 : 有

・ 8 (a) については東北大学 (松澤暢・岡田知己)、秋田大学 (坂中伸也) との共同研究。

・ 8 (b) については東京大学地震研究所 (西山昭仁・佐竹健治) との共同研究。

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 弘前大学理工学研究科

電話 : 172-39-3652

e-mail : mkos@hirosaki-u.ac.jp

URL : <http://hrsryu.geo.hirosaki-u.ac.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 小菅正裕

所属 : 弘前大学理工学研究科

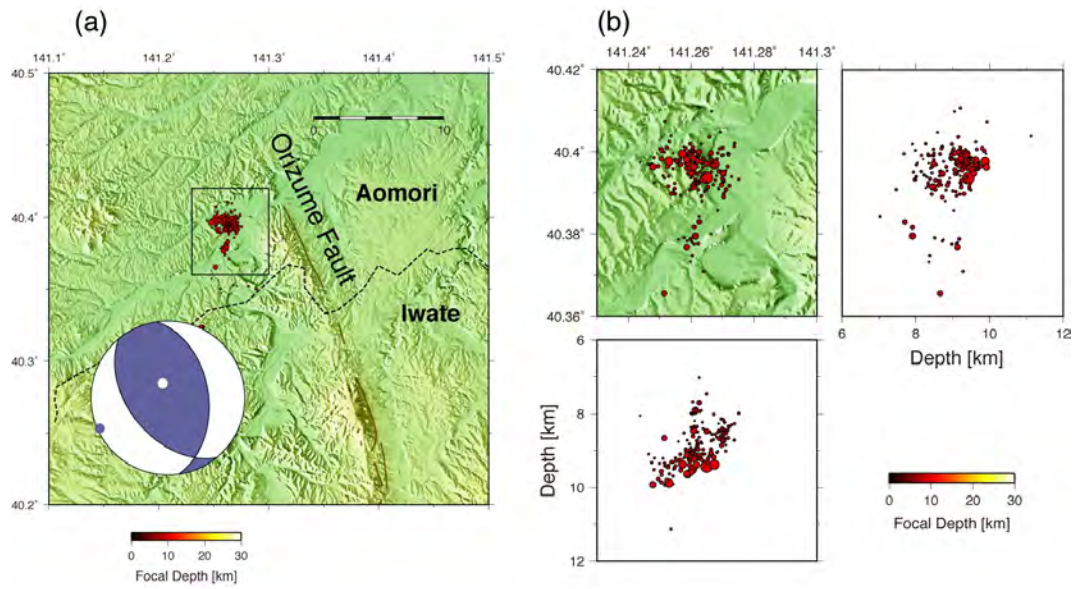


図1. 2016年1月11日に青森県三八上北地方で発生した地震の余震の震源分布。
 (a) は折爪断層との位置関係と気象庁による本震 (M4.6) のメカニズム解。(b) はDD法によって再決定した震源分布。

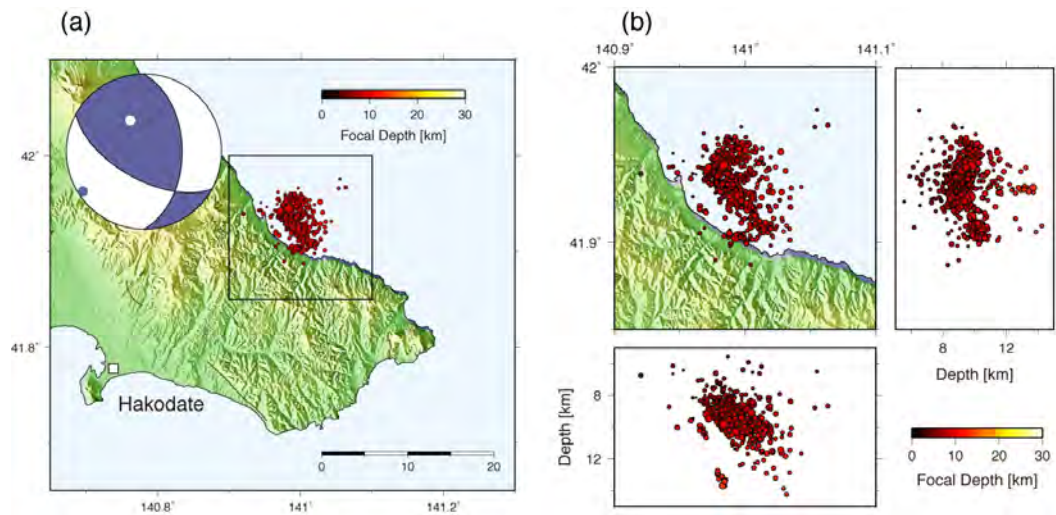


図2. 2016年6月16日に内浦湾沿岸で発生した地震の余震の震源分布。
 (a) は震源位置と気象庁による本震 (M5.3) のメカニズム解。(b) はDD法によって再決定した震源分布。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

スラブ内地震の発生メカニズムの解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

イ. 海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題では、稍深発地震の地震波解析、含水試料による高温・高圧実験および数値シミュレーションによる沈み込み帯の温度モデリングを行う。得られた結果を包括的に比較・検討することで脱水脆性仮説の検証を行い、スラブ内地震の発生メカニズムを解明する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

スラブ内地震の地震波解析によって震源域付近の詳細な地震波不均質構造および震源パラメータの推定を行い、スラブ内地震の地震像を明らかにする。また、高温・高圧条件下での室内実験による含水鉱物の脱水に伴う脆性変形過程を調べることにより、脱水脆性仮説を包括的に検証する。さらに、数値シミュレーションによる沈み込み帯の温度構造モデリングを行い、計算された温度構造と高温・高圧実験結果に基づき含水鉱物の分布と脱水反応の進行場所を推定する。各サブテーマの具体的な計画は以下の通りである。

地震波観測

本課題では、太平洋スラブ内の深さ 200km までの地震を対象に地震波形解析を行い、相対震源決定による高精度震源決定および震源パラメータの推定を行う。得られた結果は、他の沈み込み帯で得られている観測結果と比較・検討し、スラブ内地震に共通してみられる特徴を抽出する。また、東北地方沖合に設置された OBS で観測される後続波(トラップ波・変換波など)の走時や周波数成分の解析により、スラブ地殻の詳細な P 波, S 波速度構造を推定する。得られた P 波, S 波速度モデルから、流体の存在に敏感なパラメータである V_p/V_s 比の空間分布を推定する。さらに、関東下のフィリピン海プレートの詳細な地震波速度・減衰構造の推定を行い、スラブマントル内の地震の分布と不均質構造との関係を検討するし、首都直下におけるスラブ内地震の発生ポテンシャルの評価に資する情報を提供する。

室内実験

稍深発地震を再現できる温度・圧力条件を発生することのできるマルチアンビル型プレスもしくはキューブ型プレスを用いて、蛇紋岩、角閃岩などの含水鉱物の安定領域内、相境界付近、安定領域外にて変形実験を行い、脱水反応と変形組織を比較する。多チャンネル AE 計測により、脱水に伴う AE 信号の震源決定を行い、脱水及びスラブ内条件下での震源過程を調べる。また 6ch 程度の多チャンネル AE 計測システムを構築し、石英ビーズなどを用いて、校正実験を行うことで、実験中の AE 信号が試料内部に決定されることを確認する。様々な変形条件下で変形および脱水反応を起こした場合の AE 信号を測定し、震源決定を行う。その際には、昇温および加圧レートを調整し、脱水反応の速度を調整することで AE 信号の間隔や強度の違いなどを比較する。回収した試料は電子顕微鏡を用いて、変形組織の観察を行う。特に、剪断変形組織(割れ目の幅や変位量)と脱水反応生成物の分布と量(広範囲に不連続かつ均質に分布するか、連結し局所的な分布をするか?)に注目し、変形条件との比較を行う。AE 計測から推定される震源位置や震源パラメータと脱水鉱物分布及び剪断変形組織の比較から AE 信号の発生源を明らかにし、含水鉱物の脱水反応及び変形の測定により高温・高圧条件下における震源形成過程を明らかにする。

温度モデリング

本課題では、これまでほとんど行われてない 3 次元的な温度モデリングを行い、より現実的な温度構造を推定する。モデル化の際には、プレートの三次元形状や地殻熱流量、沈み込む海洋プレートの年代の地域変化や深海掘削で得られた鉱物組成や含水鉱物の分布などを制約条件とする。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

地震波観測

2012 年 12 月 7 日にアウターライズ域で発生したスラブ内ダブルプレート地震(逆断層型地震、深さ 59 km ; 正断層型地震、深さ 20 km)の震源断層モデルを震源近傍の海底に設置された圧力計で捉えた津波波形の解析から推定した(図 1、久保田(2016))。その結果、スラブ浅部で発生した正断層型地震の断層下端は 35-40 km(図 1 (b))、深部で発生した逆断層型地震の断層上端は 45-50 km となった(図 1 (c))。それぞれの深さは、2011 年東北沖地震前における正断層型地震活動域の下端と、逆断層型地震活動域の上端よりも深く、太平洋プレート内の応力場が東北沖地震により変化したことが示唆される。しかし、東北沖地震による静的応力変化の大きさは、地震発生層の深さ変化を定量的に説明するには不十分であり、破壊強度の低下による地震活動の活発化が起こっている可能性がある。

九州下のフィリピン海スラブ内で発生する深さ 60-180 km の地震の地震波放射エネルギー効率を推定した結果、地震波放射エネルギー効率は平均で 0.1 程度であり、深さによる変化は見られなかった。この放射効率は太平洋プレート内の同程度の深さで発生している地震に比べやや小さく、深発地震で見積もられている値に近い。これはフィリピン海プレート内の地震発生域の温度が太平洋プレートに比べてやや高温であることに起因するのかもしれない。

太平洋スラブ内の上面および下面地震帯の間(面間)の地震活動が活発である北海道東部下で発生した面間地震 55 個についてメカニズム解の決定を行った結果、面間地震のメカニズム解は多様であり特徴的な分布を示さないことが明らかになった。こうした面間地震のメカニズム解の多様性は、面間

地震発生深さにおける起震応力場が小さいことを示唆する。

室内実験

石膏を断層ガウジに用いたガス圧下すべり実験を行い、固着すべり時の応力降下量と再来周期(図2)から断層間の間隙水圧の成因を検討した。実験の結果、脱水反応の起らない温度条件下では各封圧下において時間の経過に対する再来周期と応力降下量の変化は小さく、封圧により一次的に制御されたといえるが、脱水反応を起こす温度条件下では時間の経過とともに再来周期・応力降下量ともに減少した(図3)。脱水条件下での応力降下量の時間変化が脱水に伴う間隙水圧変化であるとの仮定のもと、脱水反応が起らない温度条件で得られた応力降下量と封圧の関係(図3右中の式)を用いて推定された間隙水圧の時系列変化は、反応速度論を用いてモデル化できた(図4)。これより、石膏の脱水反応が間隙水圧を決定していることが明らかになった。

温度モデル

東北日本にみられる火山のクラスター状分布はマントルウェッジ内の物理的環境が島弧沿いに变化することを反映している可能性がある。本研究では、シミュレーションにより三次元温度構造を推定し、火山クラスターの成因を温度構造の視点から考察した。シミュレーションでは背弧におけるマントルの温度の不均質分布を仮定し、その温度分布を三次元モデルの境界条件として与えた。シミュレーションの結果、マントルの粘性は温度依存性が強いために、背弧における温度の不均質性がマントルウェッジ内の粘性の不均質性に大きく影響することが示された。さらに、この温度ゆらぎが島弧に沿って不均質な粘性構造を作り出し、結果としてマントルの三次元的な対流パターンが生じた。こうしたことから、マントル内の温度は島弧沿いには比較的大きく変化することが推測され、背弧におけるマントルの温度の不均質分布は火山クラスターの形成の一因と考えられる。

- (9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
久保田 達也, 2016, 近地津波観測による2011年東北地方太平洋沖地震震源域周辺における地震発生過程に関する研究, 東北大学博士論文, 東北大学.

- (10)平成29年度実施計画の概要:

地震波観測

西南日本のフィリピン海プレート内で発生する地震について、地震波放射エネルギー効率を推定し、その深さ変化や地域変化を考察する。

室内実験

稍深発地震を再現できる温度・圧力条件を発生することのできるマルチアンビル型プレスを用いて、静水圧下での圧縮実験や放射光ビームラインでの変形実験を行う。

- (11)実施機関の参加者氏名または部署等名:

東北大学(松澤暢、日野亮太、鈴木昭夫、矢部康男、武藤潤、東龍介)

他機関との共同研究の有無: 有

ミネソタ大学(和田育子)

東京工業大学(中島淳一)

- (12)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東北大学大学院理学研究科

電話: 022-225-1950

e-mail: zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL: <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp>

- (13)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：東龍介

所属：大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

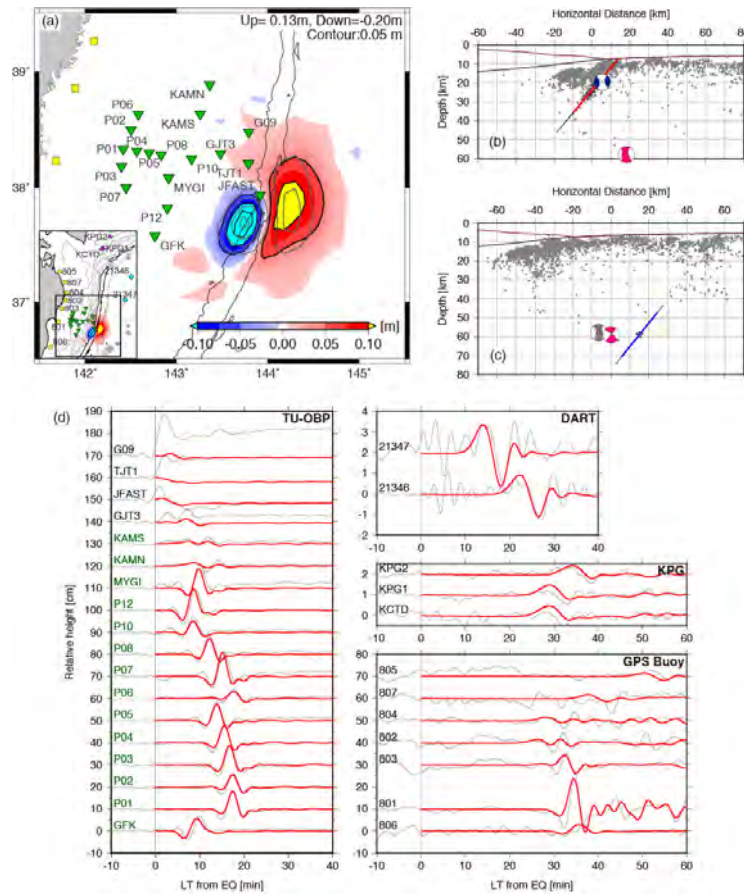


図1 . 2012年12月7日にアウターライズ域で発生したスラブ内ダブルレット地震の震源モデル。(a) 震源断層モデルから期待される初期海面高分布。(b) 正断層型サブイベントの断層モデル。(c) 逆断層型サブイベント。(d)(a)から計算された津波波形と観測波形の比較。(a)内の逆三角が海底圧力計の観測点。(b)と(c)には、Obana et al. (2015)による余震分布(灰色)と各サブイベントのGCMT解(赤と青)と遠地P波波形の最初15秒部分だけで逆断層型サブイベントのCMT解を求めた結果(灰色)を示す。(d)に示した津波波形は、黒が観測波形、赤が計算波形。

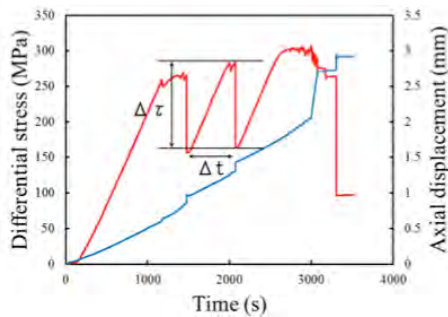


図2 . 石膏を断層ガウジに用いたすべり実験における積算変位(青、右縦軸)と差応力(赤、左縦軸)の時間変化。

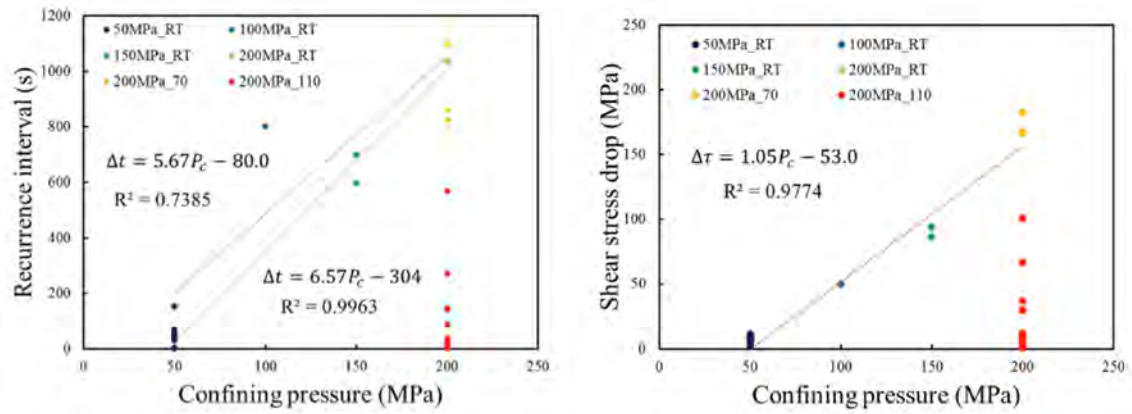


図3．封圧（横軸）と温度条件を変化させたすべり実験で観測された再来間隔（左）と差応力から推定した応力降下量（右）。実験では室温下において封圧を50 MPaから200 MPaまで変化させた場合（濃青、青、緑、黄緑）と、封圧200 MPa下において温度を脱水反応の起らない70度（黄）から脱水条件付近の110度（赤）まで変化した場合をそれぞれ試した。茶色の線は赤のプロットを除いた回帰直線。灰色の線は赤と青のプロットを除いた回帰直線。

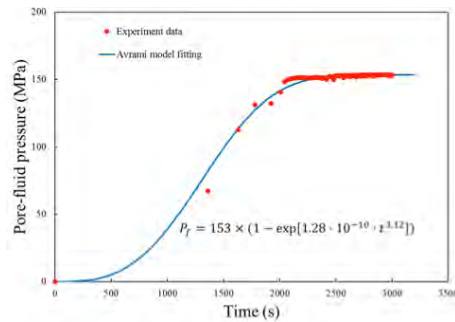


図4．間隙水圧の時間変化（赤）。脱水の起らない温度条件で得られた封圧 - 応力降下量の関係（図4中の式）を用いて、脱水条件下での応力降下量の時間変化が脱水に伴う間隙水圧変化であると仮定し間隙水圧を推定した。青線は反応速度論を用いてモデル化された間隙水圧の時系列。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

蔵王山周辺の総合観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

蔵王山周辺域において、稠密な地震及び電磁気観測、制御震源による地震波速度構造探査等を実施し、火山体直下の詳細な地震波速度構造や減衰構造、比抵抗構造等を推定することにより地殻深部から火山体浅部における流体分布を明らかにする。また、傾斜観測、GNSS 観測、InSAR 解析、重力観測などにより、火山体変形の時空間的特徴を明らかにするとともに、火山性微動の解析などを通じて火山性流体系の時間発展を検出する。休止期から活動期に入ったと考えられる同火山の活動の推移を精確にモニターすることを通じてマグマ溜まりや火道などの物理的特性、また、その周辺の応力・ひずみの時空間分布を明らかにする。

有史以来の蔵王山の活動は、御釜火口における水蒸気爆発を主たる活動としているが、火口域近傍まで観光客が容易に近づけることから、小規模な水蒸気爆発であっても被害が発生する可能性も高い。また冬季の積雪も多いことから、過去にも融雪雪崩などの災害も引き起こしている。火山流体系の状態を把握するとともに、その情報を行政・地元防災機関と共有し、有効な防災・減災対策に結びつけることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

制御震源による地下構造探査実験(平成27年度実施予定)や自然地震の観測により、山体及び周辺域のマグマ供給系の構造を推定し、震源決定精度の向上などに資する基礎データの拡充を図るとともに、火山体構造と山体及び周辺域で発生する地震や火山性微動(深部低周波微動・浅部低周波微動・長周期地震)との関連を明らかにする。また、マグマ供給系近傍のメカニズム解(応力場)分布、地震波干渉法(常時微動トモグラフィ法)、プレート境界地震や火山性地震の中に含まれる相似地震を利用した実体波による解析を実施し、微動等の火山活動に関わるマグマ等の流体の圧力変化や移動等に伴う構造や場の変化の有無に関する検討を行う。

蔵王山は水蒸気爆発を活動の主体としており、火山浅部の熱水系を明らかにするため、AMT探査による電気伝導度構造推定と全磁力観測を行う。一般に熱水系が卓越し水蒸気爆発を起こす火山では爆発前の深部・広域の地盤変動に乏しい傾向がある。電気伝導度構造と全磁力観測を組み合わせることで浅部での熱水だまりの形態や容量と熱変動の時間変化を把握することは災害予測と噴火準備過程把握の上で重要な判断材料となる。測地観測では、平成25年度に蔵王山馬の背に設置予定の傾斜観測を継続し、御釜火口において水蒸気爆発等の火山噴火が発生した際に、その活動に伴う山体変形の基礎的なデータを得る。また、簡単な圧力源モデルを用いて、噴火発生源の定量化を行う。また、GNSS観測、InSAR解析、重力観測などにより、より広域の火山体変形の時空間的特徴を明らかにする。

このようにして得られる結果から、火口流体系の構造および流体移動モデルを構築するとともに、それらの情報を気象庁や地元防災機関などとの共有を行う。また、諏訪瀬島や阿蘇山における先行研究のように噴火前兆現象として数分前からの地盤変動が観測される可能性があるため、このような観測結果を即時的かつ有効な防災・減災対策に結びつける方策を各機関と検討する。

(8) 平成28年度の成果の概要：

地震観測：本課題において展開した臨時地震観測網及び既設観測網で得られた記録をもとに、蔵王山直下浅部で発生する低周波地震・長周期地震の解析を継続し、浅部の熱水系分布や物性及びその時間変化に関する研究を実施した。その結果、現在までのところ、長周期地震の振動特性に明瞭な時間変化は見られず、顕著な温度変化や物性的変化はないと解釈できる。

また、平成27年度に全国の大学と合同で実施した人工地震構造探査のデータ解析を進め、表層地盤(P波速度約3km/s)は約400mと薄く、P波速度が約5km/s以上の基盤岩質構造が表層近くまで存在することを屈折法解析から明らかにした(図1)。このような基盤構造の特徴は、地震計アレイを用いた表面波分散解析の結果とも調和的であり(図2)、これまでの地質学的研究により提唱されてきた蔵王山の山体構造の特異性を裏付ける結果となった。さらに、火口湖御釜及び地熱活動域を対象としたファン・シューティング解析の結果、御釜と地熱活動域を結ぶ領域が地震波の減衰域となっていることを明らかにした(図3, 図4)。

地球電磁気観測：蔵王山の全磁力繰り返し観測を2016年8月に実施した。これまでの観測結果をまとめると、2014年6月から10月は消磁傾向、その後2015年8月までは停滞、さらにその後2016年8月は消磁傾向である。熱消磁域を3軸楕円体と仮定し、各パラメータをグリッドサーチにより最適化する解析コードをFORTRAN90+MPIで開発した。これにより上記の全磁力データを解析した結果、単双極子モデルに比べて規格化RMSで0.8程度向上し、御釜から北東へ約700m、深さ約350mの位置に長径・短径がそれぞれ500m、400mで厚さ190m程度の扁平楕円体シル状の消磁域が推定された。蔵王山の噴火ポテンシャルは御釜直下ではなく、現在噴気を上げている振子沢、丸山沢の直下付近にあることが示唆された。

2014年度に実施した御釜周辺23観測点のAMT観測データを解析し、御釜周辺の深さ約2kmまでの3次元電気伝導度構造を推定した結果、御釜東側の五色岳直下500m付近に1S/m程度の高伝導領域が一辺約300mの立方体状に分布していることが分かった。それを除けば、御釜周辺の電気伝導度は約0.01S/mのほぼ一様の分布をしている。五色岳近傍では、表層の噴気や熱活動は現在認められておらず、上記の高伝導体は休止している熱水溜りに変質体が形成されたものと解釈している。

重力観測：火山活動に伴う重力変化を捉える目的で重力連続観測を実施するため、今年度は補正予算により既設の蔵王火山観測所に重力観測局舎を併設した。この局舎内に設置する予定の超伝導重力計 (iGrav#003) は、2 世代前の超伝導重力計 TT#70 による観測を長期間にわたって継続している国立天文台水沢 VLBI 観測所において併行観測を行って性能評価を行った。その結果、地球潮汐や気圧補正を施すことにより数 μ Gal 程度の微小な重力変化を捉えられることがわかった。

噴気温度・その他の観測：6 月 2 日に御釜の測深調査及び湖水の地球化学的観測を実施した。昨年調査結果とともに測深データをコンパイルした結果を図 5 に示す。お釜底部には北東-南西の地溝部があると推定される。なお、悪天候のため波高が高く、より正確な測深データを取得する必要がある。図 6 に湖水の地球化学的観測データの深度プロファイルとその時間変化を示す。2014 年 5 月 (黒色) と 2016 年 6 月 (緑色) の結果を比較すると、2016 年の電気伝導度 (EC) がやや上昇傾向であり、溶存物質量が増加しているが、その原因については解析中であり、今後の推移を見守る必要がある。

6 月 1 日、8 月 25 日、10 月 26 日に丸山沢噴気地熱地帯の現地調査を行った。噴気地熱地帯最下部の噴気帯 (写真の A) は、6 月 1 日の最高温度は 92.5 ，10 月 26 日は 93.8 だった。2015 年 10 月 28 日が 89.7 だったことと合わせ、温度が上昇傾向にあるのは間違いないが、2012 年 6 月に 93 前後だったことを考えると、これだけで火山活動の活発化とは判断できない。2015 年秋にごく小規模な土砂噴出があったと思われる上部の噴気帯 (写真の B) は 6 月 1 日時点で、大きく崩れて勢いのある噴気が生じていた。周囲に土砂が飛散した様子はなく、近くに以前はなかった巨岩があったことから、崩落してきた巨岩の衝突で崩れたと考えられる。一年を通してこの場所の噴気活動が最も強かった。かつて最も強かった右上の噴気 (写真の C) はすっかり弱まっていた。場所による消長はあるものの、全体として丸山沢噴気地帯の活動に目立った変化はなかったと判断される。

1939 年、1966 年の火山活動活発化で高温・高濃度の温泉湧出が起こり、2015 年に 30 を超える温泉の再湧出が確認された濁川と振子沢の合流部付近 (旧新関温泉) では、前年に比べて湧出量の激減と温度の低下が起こっていた。湧出量は 8 月に増加していたが、直前の豪雨の影響が疑われる。水温は 6 月に 15 前後だったのが、10 月には 10 前後まで低下していた。

2016 年春に植生枯損が見られた蔵王沢傾城岩近傍の現地観測を行った。当該地は、1960 年代の火山活動活発期には数百 ppm、1970 年代後半の静穏期には数十 ppm の H₂S 濃度を観測している地熱地帯であるが、今回の現地調査では地表高約 1m で 100 ppm 前後の H₂S 濃度となる箇所も存在することが明らかとなった。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
なし

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

既設観測網を維持し火山性流体移動プロセスのモデル等に必要なデータの蓄積を進めるとともに、人工地震構造探査のデータ解析をさらに進め、さらに詳細に地下構造を明らかにすることで、火山性地震の震源決定や火山活動推移予測等の精度・信頼性の向上を図り、火山災害軽減に資する。

熱消磁源を含む繰り返し測量あるいは空中磁気等の観測網の拡充を行い、災害軽減の為の最大噴火ポテンシャル場所の推定精度を高める。また全磁力連続観測を行っている御釜火口湖北岸の観測点をプロトン磁力計からオーバーハウザー磁力計に入れ替え、熱消磁、帯磁の時間分解能とデータ精度を改善する。

超伝導重力計 iGrav#003 を蔵王火山観測所に併設した重力観測局舎に設置して重力連続観測を開始し、火山性微動や地殻変動のデータと併せて火山活動に伴う重力変化検出を試行する。

これまでに引き続き、丸山沢噴気地熱地帯では温度観測 (定点繰り返し、定点連続)、湧水採取、目視での活動度評価を、旧新関温泉では湧出箇所の増減確認、温度・ph・電気伝導度の測定と湧水採取を行う。丸山沢噴気地熱地帯のタイムラプス写真撮影を雪解け後の早い時期から実施し、28 年度に実施できなかった御釜湖底での温度連続観測を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

三浦 哲, 西村太志, 山本 希, 岡田知己, 太田雄策,
内田直希, 市來雅啓, 土屋範芳, 後藤章夫

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 : 大久保修平, 今西祐一, 田中愛幸

東京工業大学 : 小川康雄, 神田 径, 中島淳一

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

e-mail : zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL : <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 三浦 哲

所属 : 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

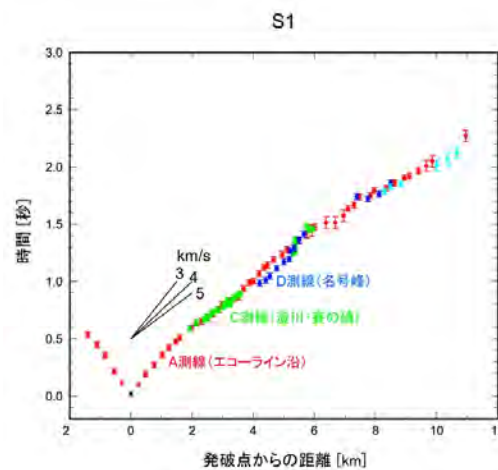


図 1.

平成 27 年度に実施された人工地震構造探査で得られた走時曲線 .

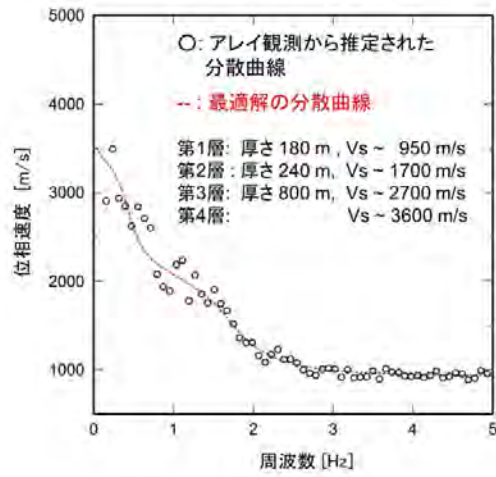


図 2 .
平成 27 年 10 月に実施された人工地震探査実験により得られた分散曲線 .

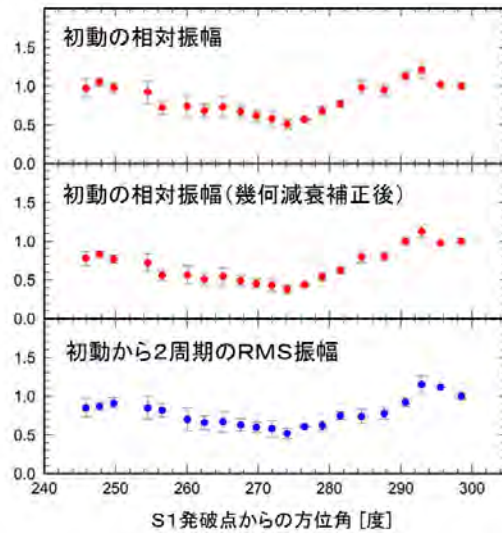


図 3 .
平成 27 年 10 月に実施された人工地震探査実験により得られた波形振幅の方位依存性 .



図 4 .
平成 27 年 10 月に実施された人工地震探査実験によりイメージされた減衰域 .

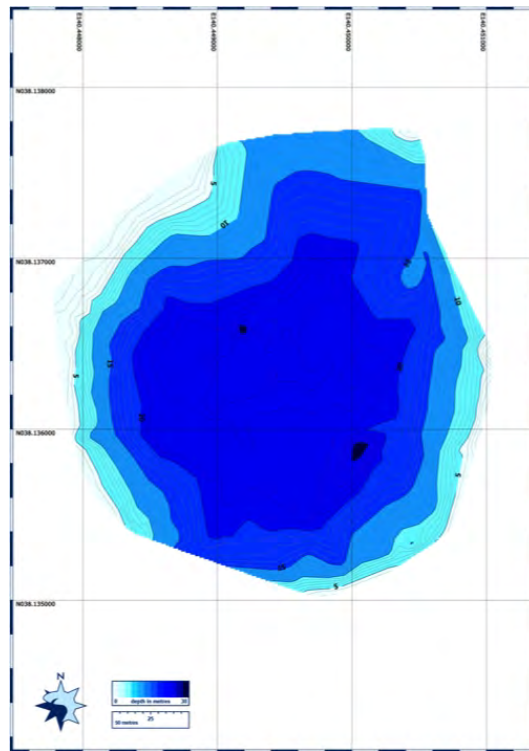


図 5.
蔵王山火口湖（御釜）の測深観測結果．2015/9/2 と 2016/6/2 のデータをコンパイルした結果を示す．

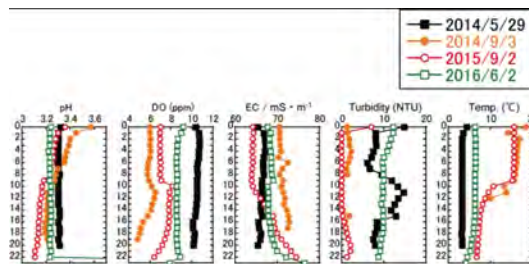


図 6 .
蔵王山火口湖（御釜）の地球化学的観測データ．



写真
10月26日に実施した丸山沢噴気地熱地帯の現地調査時に撮影された写真．

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻応答による断層への応力載荷過程の解明と予測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、観測から求められている東北日本弧の弾性・非弾性構造を、実験的アプローチと連携してより物性的不均質にまで踏み込んで明らかにし、その中で進行する変形過程を観測・シミュレーションの両面から明らかにすることで、内陸地震断層域への応力載荷プロセスの理解を深める。

2011 年東北地方太平洋沖地震の後、大きな余効変動が捉えられており、これは余効滑りと粘性緩和の両方の影響が入っている。この粘性緩和の影響を分離して推定できれば、粘性係数の分布が推定でき、地震波トモグラフィの結果とあわせてレオロジー構造を構築することができる。このレオロジー構造を用いてシミュレーションすることにより、どこにどのように応力・歪が集中するのかを推定し、これと実際の地震活動・測地データと比較することにより、モデルの検証・改良を行うことができる。低粘性の領域が推定された場合、その原因としては、温度・流量・岩石組成等の違いが考えられる。

電磁気学的知見と地質学的知見も総合することによって得られた不均質構造の生成原因の推定も行うことができると期待される。

本課題では、上記のような観点から、2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動・余震活動を調べ、さらに詳細な地震波速度・比抵抗の3次元構造を推定し、これらを比較することにより、東北日本弧のレオロジー構造を構築し、数値シミュレーションによってモデルの検証・改良を行う。さらに地殻流体と地震活動の移動との関係を明らかにする。

得られた構造に基づきシミュレーションによって推定された応力・歪の時空間変化と、地震・火山活動の時空間変化との比較を通じて、今後の内陸地震や火山噴火の発生ポテンシャルの評価に資することを本研究の目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震観測

- ・2011年東北地方太平洋沖地震の余震・誘発地震活動を把握するために設置された臨時・地震観測点およびそれ以外の臨時観測点を再編成して地震観測を継続(H26~30年度)
- ・いわき地域~猪苗代湖南部(H26~27年度)と猪苗代湖南部~新潟県三条市(H28~29年度)の測線において、それぞれ60点の臨時地震リニアアレイ観測を実施。
- ・これらの結果に基づき東北日本弧の上部地殻~最上部マントルにかけての地震波速度・減衰・異方性構造、詳細な震源分布を推定(H26~30年度)
- ・微小地震クラスター内の震源移動の検出、繰り返し地震のコーダ波解析、波形干渉法解析等を通して、地殻流体に関わる地震発生場の時間変化の検出を試行(H26~30年度)
- ・応力テンソルインバージョンにより、応力の時空間変化を推定(H26~30年度)

測地観測

- ・2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動を把握するために設置された臨時GNSS観測点およびそれ以外の臨時観測点を再編成してGNSS観測を継続(H26~30年度)
- ・東北地方と北海道太平洋岸において、ハイブリッド重力観測を実施(H26~30年度)
- ・以上の測地観測から、変形場や応力場の時空間発展を詳細に解明(H26~30年度)

電磁気観測

- ・いわき誘発地震域~中越地震震源域に至る領域で、広帯域MT法観測を実施するためのサイトサーベイを実施(H26年度)したのち、MT法観測を順次実施(H27~29年度)
- ・既存のデータと上記の観測結果により東北地方の広域の3次元比抵抗構造を推定(H26~30年度)

レオロジーモデリング

- ・粘性構造推定のため、岩石変形機構を明らかにする実験的研究を実施(H26~30年度)
- ・内陸の粘弾塑性応答のシミュレーションコードを開発(H26~27年度)
- ・地震学・測地学・電磁気学的知見と物質科学的知見や素過程の実験的研究を融合することにより、岩質・温度・流体量等の分布を推定し、地殻・マントルのレオロジーモデルを構築(H28~29年度)
- ・プレート境界面上の滑りの時空間変化を境界条件として与え、上記のレオロジーモデルを用いた、余効変動の数値シミュレーションを実施し、実際の歪分布や応力テンソルインバージョンの結果と比較することにより、モデルを改良(H29~30年度)
- ・北茨城いわき地方の地震活動の時空間発展が説明可能な震源域スケールでのレオロジー構造を推定し、いわき内陸地震の発生過程を説明するモデルを構築(H30年度)
- ・東北地方太平洋沖地震発生時及び発生後の活断層や活火山の周辺の歪・応力変化をシミュレーションによって再現し、さらに、その外挿として、今後の歪・応力分布を推定することにより、内陸地震や火山噴火の発生ポテンシャルを検討(H30年度)

(8) 平成28年度の成果の概要：

地震観測

東北沖地震後に発生した内陸地震群について、稠密地震観測を実施し、定常観測網だけでは推定できない小さな地震についてもメカニズム解を推定し、応力テンソルインバージョンにより、東北沖地震後の応力場の時間変化について検討を行った。それぞれの地震群について、東北沖地震直後と4年程度経過した後で応力場は概ね同じであることが確認できた(図1)。

福島県のいわき-猪苗代湖測線に約1.5 km 間隔で臨時観測点50点を設置し地震観測を行った。解析に用いた観測点の観測期間は2014年10月から2016年6月まで約1年8カ月間である。解析には、2014年10月~2016年6月に発生した震央距離30°~90°のMw5.9以上の地震を用いた。観測点下の速度構造を得るために、観測されたレシーバ関数とS波速度構造を与えて計算された理論レシーバ関数との間で最急降下法を用いて波形適合を行い、最も合う地殻構造モデルを推定した。速度構造の解析の結果から、測線上における深さ1 km~2 kmの火山性堆積物と見られる低速度層の分布が明らかとなった。また、深さ5 km~10 kmに顕著な高速度領域が確認された。また、それらが棚倉断層によって断裂されていることから、棚倉断層の北部延長を確認することが出来た(図2)。

測地観測

GNSS速度データにクラスタ解析を行うことにより、サンアンドレアス断層系周辺域において既知の断層系と対応するブロック境界を客観的に抽出する研究が成果を挙げている(例えばSimpson et al., 2012; Savage and Simpson, 2013)。東北地方太平洋沖地震前の2010年1月1日から2011年3月8日までの期間の東北日本のGNSS速度データに対して同様の解析法を適用し、地殻変動の特徴の抽出を試行した結果、陸側プレートの剛体的運動と太平洋プレートの沈み込みに伴うプレート内変形が支配的である領域が、脊梁付近を境にして異なるクラスタとして明瞭に区別できた(図3)。なお、クラスタ数については既往研究の手法に準じて最適化を行い、当該期間については上記の2クラスタが最適であった。

東北地方の5点及び北海道太平洋岸の3点、及び関東地方2点で、精度1マイクロガル程度の高精度絶対重力測定を実施した。そのうちの仙台と江刺(岩手県)について、2011年以降の重力及び楕円体高の時間変化を図4に示す。2011年~2014年に見られていた隆起と重力減少の対応関係が、2014年以降は消失していることがわかる。この傾向は関東地方(筑波山、東京)でも認めることができた。このことは東北地震後の粘弾性効果が次第に、afterslipの効果と同程度に成長していることを強く示唆する結果である。また、2016年5~7月に、東北全域及び北海道の太平洋岸の約60点で、精度10μガル程度のハイブリッド重力観測を実施した。2012~2014年と、2014~2016年の2つの期間について2年間の重力変動を図5に示す。2014年を境に空間的な重力変動パターンも大きく変わりつつあることが見出された。

電磁気観測

地殻応答課題のミッションである島弧横断地殻構造を求める為、電磁気グループは(1)山形-宮城横断測線、(2)新潟-福島横断測線、(3)秋田-岩手横断測線の3つの測線に注目して最上部マントルから地殻比抵抗構造探査を行っている。

(1)の測線では1962年宮城県北部地震、2003年宮城県北部地震、2008年岩手宮城内陸地震震源域それぞれのMT観測点をさらに増強して比抵抗構造の精度を高めた。その結果、新たに2003年の宮城県北部地震震源域で起きている地震活動が比抵抗構造の高抵抗と低抵抗の境界付近で起きていることが分かった。昨年度の報告を含む既往研究では、これらの地域の地震活動は高抵抗領域で発生しているとされていた。

(2)の測線では昨年度報告したMT観測データに対して、島弧2次元断面の比抵抗構造を推定した(図6)。背弧側新潟平野の地下10~20 km、前弧側郡山盆地と阿武隈高地との境にあたる領域の地下10~30 km、島弧中央部西会津地下全般に低比抵抗域がそれぞれ推定された。得られた比抵抗構造に気象庁一元化震源を重ねたところ、2011年の東北太平洋沖地震の直後から前弧側にあたる茨城県-福島県境付近で活発な誘発地震活動が起り、同地震の前に郡山盆地西側の奥羽山脈の地下浅部でもまとまった地震活動が起こっていたことが確認された。それらの地震活動は、前弧側低比抵抗領域の浅部に位置する高比抵抗域で起こっていることが分かった。ただ当該測線では、背弧側の日本海に面す

る領域ではその地下に低比抵抗域が捉えられているものの、顕著な地震活動は起きていないようである。なお、今年度はこの観測測線の北側にあたる、新潟県阿賀野市から福島県鮫川村に至る約 150 km の測線上で 2016 年 11 月の約一か月間、広帯域 MT 観測を追加で実施した。

(3) の測線では秋田大学がこれまで観測してきた全ての秋田県内の広帯域 MT 観測データの所在を整理した。全てのデータから 3 次元比抵抗構造を推定する為に 3 次元解析コード用のデータフォーマット変換スクリプトを作成した。

レオロジーモデリング

Horiuchi and Iwamori (2016) による沈み込み帯熱対流モデルを用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動を解析した。このモデルは、沈み込み帯の定常的な熱対流を再現したもので、Dry/Wet レオロジーや部分溶融や蛇紋岩化などの岩石学的反応も考慮している。これを 2 次元有限要素法の東北日本弧マントルウェッジの粘性率 (図 7a) として読み込み、地震後約 1 年間の余効変動をモデル化した。このモデルは、沈み込む海洋プレート下の粘性は推定出来ないため、Muto et al. (2016) で推定された海洋マントル粘性 (Ref. OM) を組み合わせることで、内陸レオロジー不均質の効果を検証した。図 7a に示しているのは相対粘性であり、基準粘性として Horiuchi and Iwamori で用いられた 10^{20} Pa s と、それより一桁低い 10^{19} Pa s の 2 パターンのテストを行った結果の水平変動と上下変動を図 7b と図 7c にそれぞれ示す。基準粘性を 10^{19} Pa s とすると、水平変動の陸域東向きはどのモデルでも過小評価だが、その大まかな傾向は再現している。このモデルでは余効滑りはモデル化していないので、東向きの大きさがやや過小評価となっていれば良い。一方、 10^{19} Pa s では海域の西向きは足りなくなる。基準粘性を 10^{20} Pa s (青太線) にしたモデルのほうが海域のデータは説明できるが、陸域の東向きが説明できなくなる。上下変動も 10^{20} Pa s (青太線) のモデルは陸域のデータをまったく説明できず、 10^{19} Pa s のモデルなら陸域の隆起沈降をよく再現している。前弧の蛇紋岩が存在するモデル (青細線) を存在しないモデル (青破線) と比較すると、この蛇紋岩の存在は前弧の東向きの変位を促進し、隆起を抑制していることがわかる。

東北沖地震間における東北日本弧の上下変動のモデル化を有限要素法により行った。島弧内陸の不均質粘弾性構造とスラブを考慮した場合、沈降域が太平洋沿岸から火山フロント周辺まで拡大することがわかった。また、粘弾性モデルでも深部固着が必要であるが、弾性体に比べて深部の固着の割合は小さくても前弧の沈降を説明可能であることがわかった。観測から明らかにされているおよそ 100 年間における東北日本背弧での隆起は、東北沖地震震源域から深部までの固着の影響を受けていた可能性がある。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) : 磯部 渉, 2017, 稠密アレイを用いたレシーバ関数解析による東北南部前弧域の地殻・マントル構造の研究, 東京大学修士論文 .

伊藤嘉秋, 2017, 東北地方における GNSS 速度場のクラスタ解析, 東北大学卒業研究 .

Muto, J., B. Shibasaki, T. Iinuma, Y. Ito, Y. Ohta, S. Miura, and Y. Nakai, 2016, Heterogeneous rheology controlled postseismic deformation of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi: 10.1002/2016GL068113.

Okada, T., T. Nakayama, S. Hirahara, S. Hori, T. Sato, and T. Matsuzawa, 2016, Effect of stress and fluid pressure change on shallow earthquake swarm induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake inferred from dense seismic observation, *JpGU 2016 Annual Meeting*, STT18-03.

岡田知己・中山貴史・平原聡・堀修一郎・佐藤俊也・松澤暢・長谷川昭・吉田圭佑・2011 年東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ, 2016, 稠密地震観測で求めた, 東北沖地震後の内陸誘発地震のメカニズム解, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, S09-15

Saito, Z., 2017, 3D magnetotelluric imaging of fluid distribution in a seismogenic region, Miyagi, NE Japan, 東京工業大学修士論文 .

Saito, Z., Y. Ogawa, M. Ichiki, A. Suzuki, Y. Kinoshita, and P. Amatyakul, 2016, 3D magnetotelluric

imaging of fluid distribution in a seismogenic region, Miyagi, NE Japan, The 23rd Electromagnetic Induction in the Earth Workshop, Chiang Mai, Thailand, August 14-20, 2016.

Shibazaki, B., T. Okada, J. Muto, T. Matsumoto, T. Yoshida, and K. Yoshida, 2016, Heterogeneous stress state of island arc crust in northeastern Japan affected by hot mantle fingers, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 3099-3117, doi:10.1002/2015JB012664.

Suzuki, A., Y. Ogawa, Z. Saito, M. Ushioada, H. Ichihara, M. Ichiki, and M. Mishina, 2016, 3D fluid distribution and co-, and post-seismic deformation: MT imaging of focal zone of 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, Japan, The 23rd Electromagnetic Induction in the Earth Workshop, Chiang Mai, Thailand, August 14-20, 2016.

Takagi, S., and S Okubo, 2016, Internal deformation caused by a point dislocation in a uniform elastic sphere, *Geophys. J. Int.*, 208, 973-991.

Uyeshima, M., M. Ichiki, S. Sakanaka, and M. Tamura, 2016, 2-D analysis of wide-band MT data across southern part of Tohoku, NE Japan, and evaluation of inter-station horizontal component geomagnetic transfer functions, The 23rd Electromagnetic Induction in the Earth Workshop, Chiang Mai, Thailand, August 14-20, 2016.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

地震観測

東北地方陸域、特に、誘発地震発生域での臨時観測を継続し、地震活動・構造・応力場の詳細な推定を引き続き行う。福島県のいわき-猪苗代湖測線の観測点は猪苗代湖から新潟に抜ける測線に移動しており、この観測を継続するとともに、データの取得と得られたデータの解析を行う。さらにニュージーランドのカイコウラ地震後の地殻活動を解析して東北地方と比較対照することにより、プレート境界型地震に対する地殻応答についての共通性と地域性を抽出する。

測地観測

東北地方太平洋沖地震前後を含む異なる期間についてクラスタ解析を実施し、時間変化等について検討を行う。東北全域及び北海道の太平洋岸の約 60 点でハイブリッド重力観測を継続し、また、3次元粘弾性モデリングにより、重力変動の結果の説明を試みる。

電磁気観測

山形 - 宮城の測線では、太平洋沿岸の観測データの観測と解析を行う。宮城県北部から岩手県南部の太平洋沿岸のデータを取得し、前弧側の比抵抗構造を精密化する。新潟 - 福島測線では、平成 27・28 年度に実施した測線のデータ解析を継続する。南側測線である平成 28 年度の測線のさらに南側で、これまでと同規模の 15 点からなる観測を実施する。得られたデータの解析から 3 次元比抵抗構造の推定を行う。構造と震源分布や地震学的構造との相関を調べることにより、地下の流体分布推定の精密化を図る。秋田 - 岩手の測線では、秋田県内に面状に存在する広帯域 MT データの 3 次元解析を行い、広域的な比抵抗構造から、森吉山の地震活動など個々のローカルな地震活動を見直す。

レオロジーモデリング

Horiuchi and Iwamori モデルで蛇紋岩の粘性や Wet レオロジーの効果など様々なレオロジーパラメータを考慮した粘性率マップを作成しテストを行い、また解析データも地震後 5 年間のものを含め検討を行っていく。これまでに構築した島弧内陸における不均質レオロジー構造を考慮した有限要素法モデルを用いて、東北沖地震時すべりと余効すべりの逆解析を実施し、その結果を基に火山フロント周辺の余効変動のモデルを構築する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学: 岡田知己・太田雄策・三浦哲・市來雅啓・矢部康男・内田直希・松澤暢・高木涼太・吉田圭佑・武藤潤・趙大鵬・豊国源知・山本希・遠田晋次・他計約 20 名。

他機関との共同研究の有無: 有

東京大学地震研究所：岩崎貴哉・平田直・小原一成・上嶋誠・飯高隆・酒井慎一・平賀岳彦・蔵下英司・五十嵐俊博・福田淳一・小河勉・大久保修平・今西祐一・田中愛幸・他計約 20 名。

・地震観測は北海道大学（勝俣啓・高橋浩晃）弘前大学（小菅正裕・渡邊和俊）名古屋大学（山中佳子・加藤愛太郎）京都大学防災研究所（片尾浩・飯尾能久）九州大学（松島健・松本聡）鹿児島大学（宮町宏樹・後藤和彦）、防災科学技術研究所（武田哲也・浅野陽一）をはじめとした全国連携の共同研究。

・GPS 観測も北海道大学（大園真子）をはじめとした全国連携の共同研究。

・重力観測は北海道大学（大島弘光）との共同研究。

・電磁気観測は秋田大学（坂中伸也）・東京工業大学（小川康雄）との共同研究。

・シミュレーションについては、建築研究所（芝崎文一郎）との共同研究。

・データ解析については東京工業大学（中島淳一）JAMSTEC（飯沼卓史）との共同研究。

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松澤暢

所属：東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

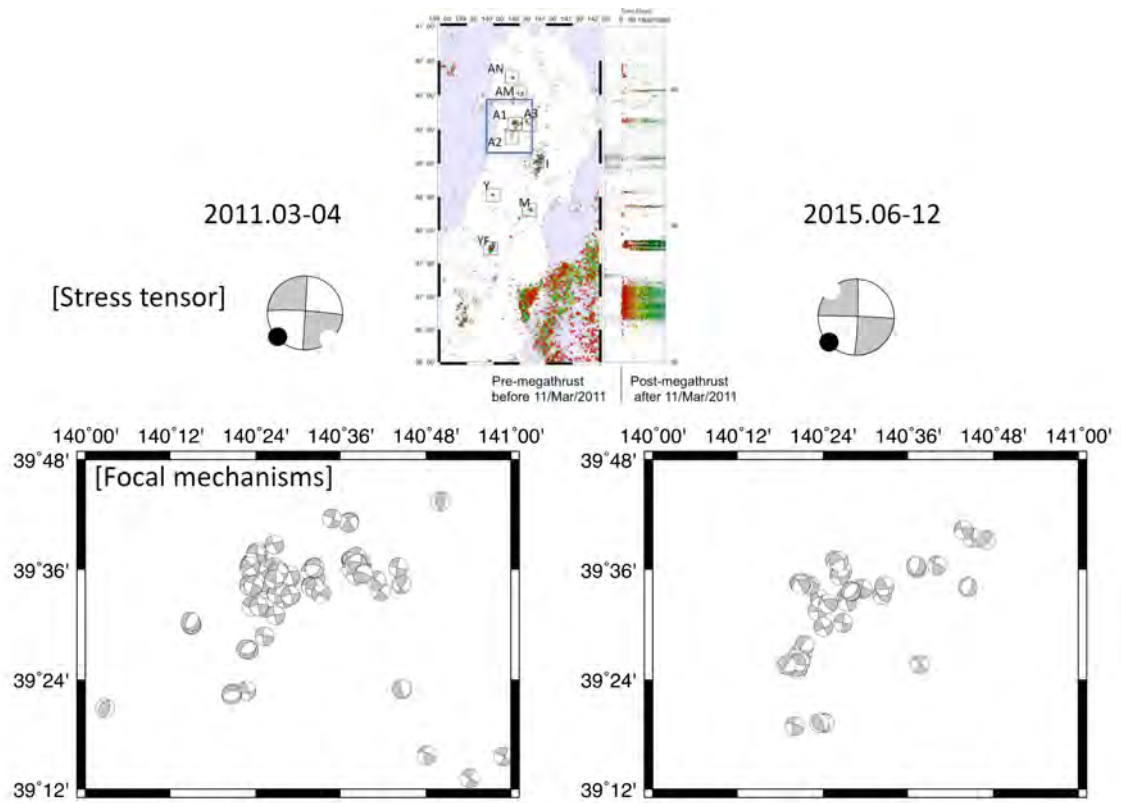


図 1 . 秋田県南部における東北地方太平洋沖地震発生直後の 2011 年 3 月-4 月 (左図) と約 4.5 年後の 2015 年 6 月-12 月 (右図) に発生した地震のメカニズム解の分布と、これらの地震から推定した応力テンソル。

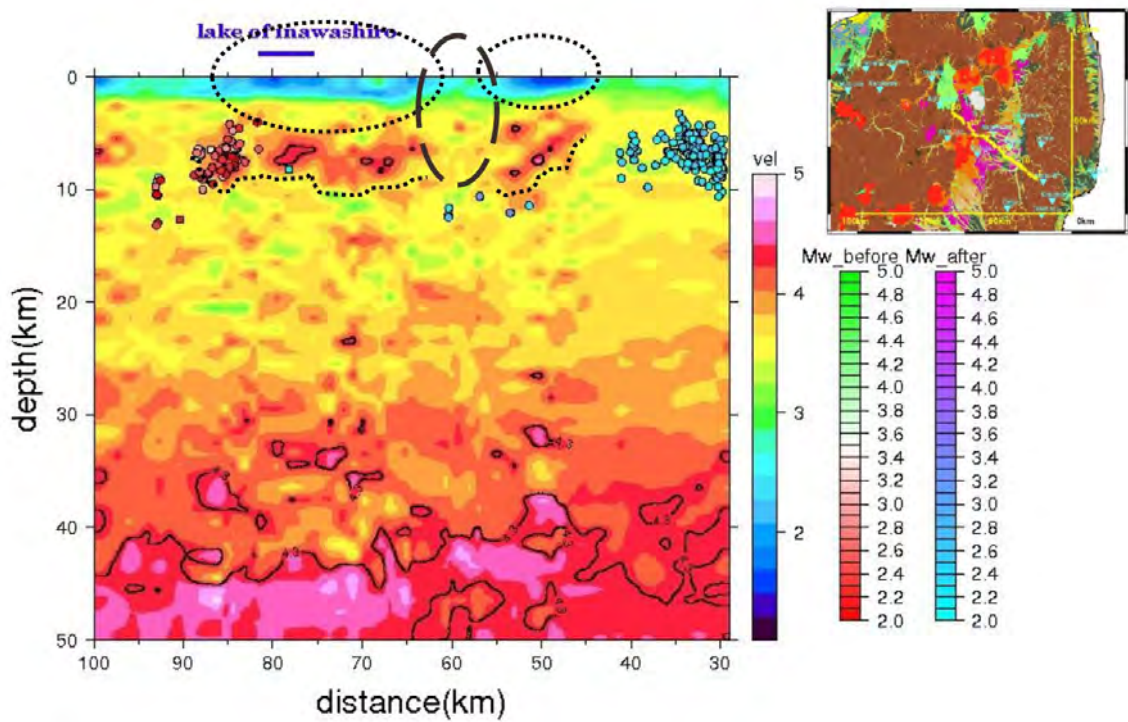


図 2 . 福島県のいわき-猪苗代湖測線の観測点のデータからレシーバ関数と最急降下法によって得られた S 波速度構造モデル。

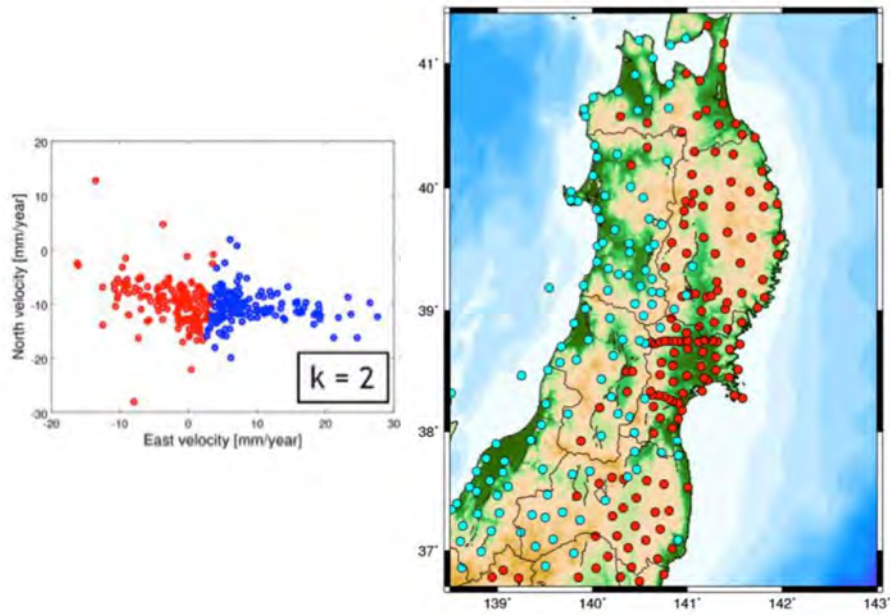


図3 . 2010年1月1日から2011年3月8日までの期間の東北日本のGNSS速度データに対してクラスタ解析法を適用した結果。

(左図)速度空間におけるクラスタ分布図。南東方向(青)及び南西方向(赤)の速度が卓越する二つのクラスタに分離された。(右図)分類されたGNSS観測点の分布。クラスタリングの結果、青と赤で示した観測点が、それぞれ陸側プレートの剛体的運動及び太平洋プレートの沈み込みに伴うプレート内変形が支配的である領域に概ね対応していることがわかる。

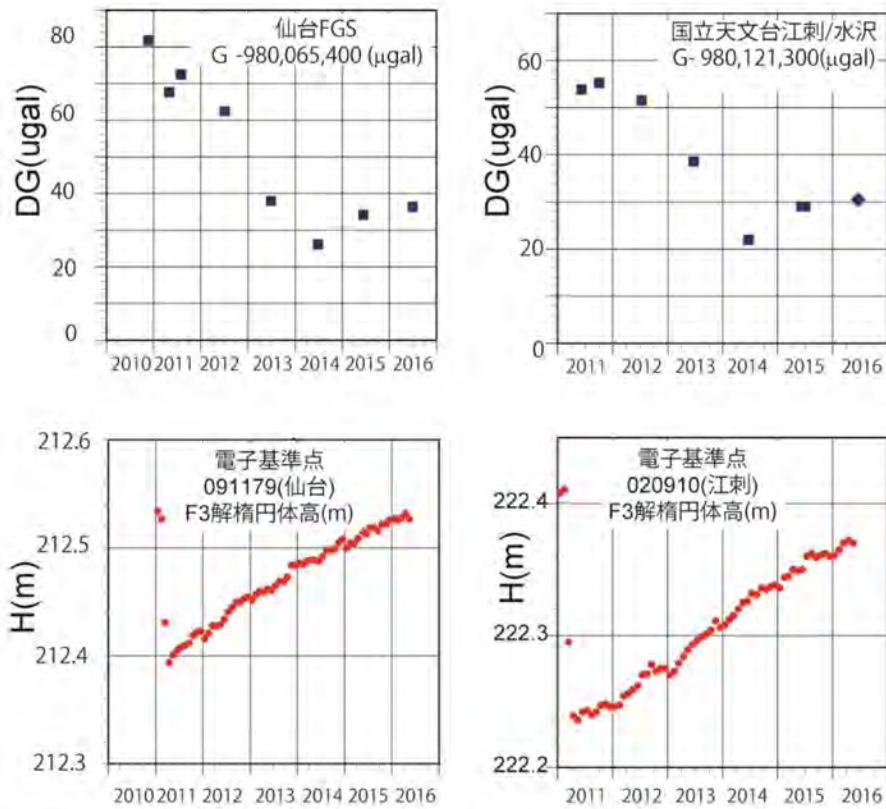


図4 . 仙台(左図)と江刺(右図)における、重力変化(上図)と上下変動(下図)。

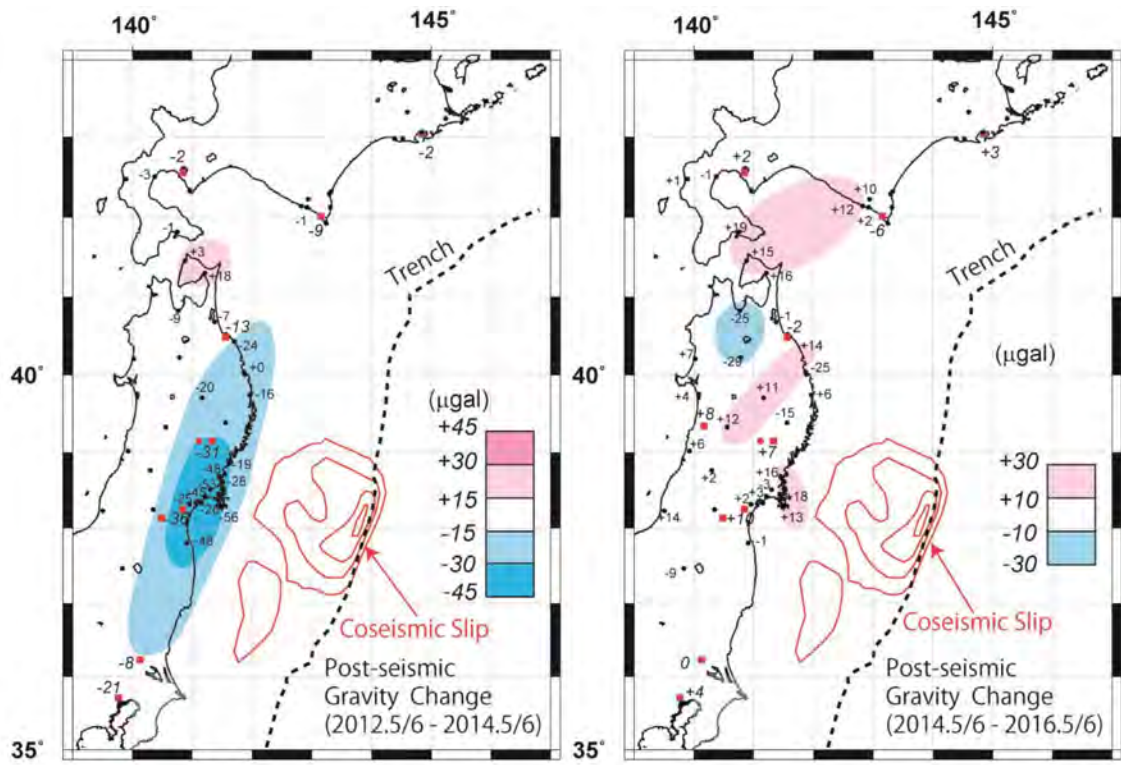


図5. ハイブリッド重力観測によって推定された東日本の重力の時空間変動。

左図：2012～2014年。右図：2014～2016年。図中の \bullet は絶対重力点（10点）、 \circ は相対重力点（約50点）、赤の等値線は Inuma et al. (2012) による東北地方太平洋沖地震時のすべり量（10, 30, 50, 70 m）を表す。

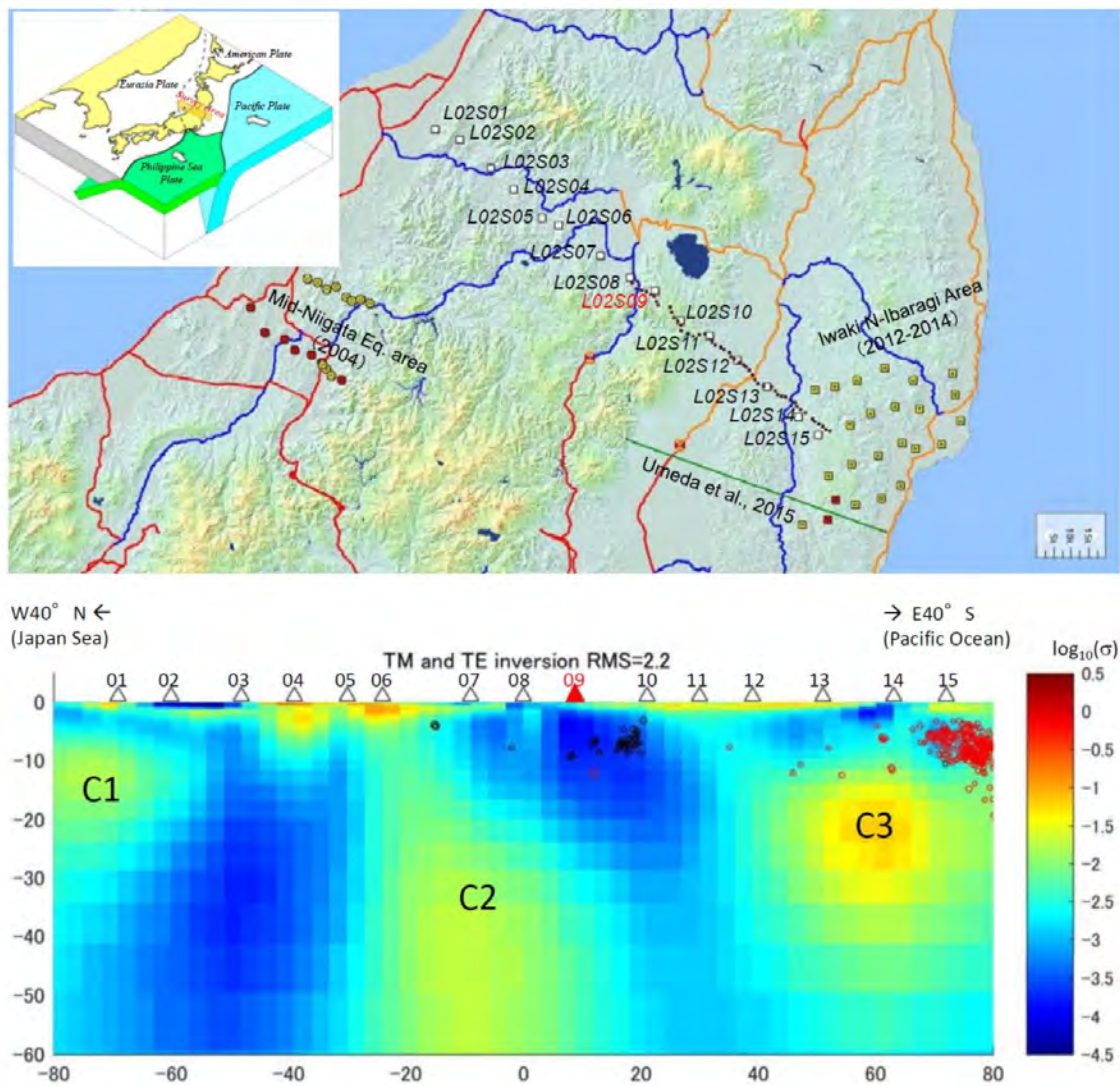


図6．新潟-福島横断測線の比抵抗分布。

上図：H27年度に実施した新潟-福島横断測線の観測点（L02S01～L02S15）分布。下図：推定された比抵抗断面。三角は広帯域MT観測点、赤丸は東北地方太平洋沖地震以後におきた $M_{JMA}3$ 以上の福島・茨城県境の地震、黒丸はそれ以外の $M_{JMA}3$ 以上の地震を表す。

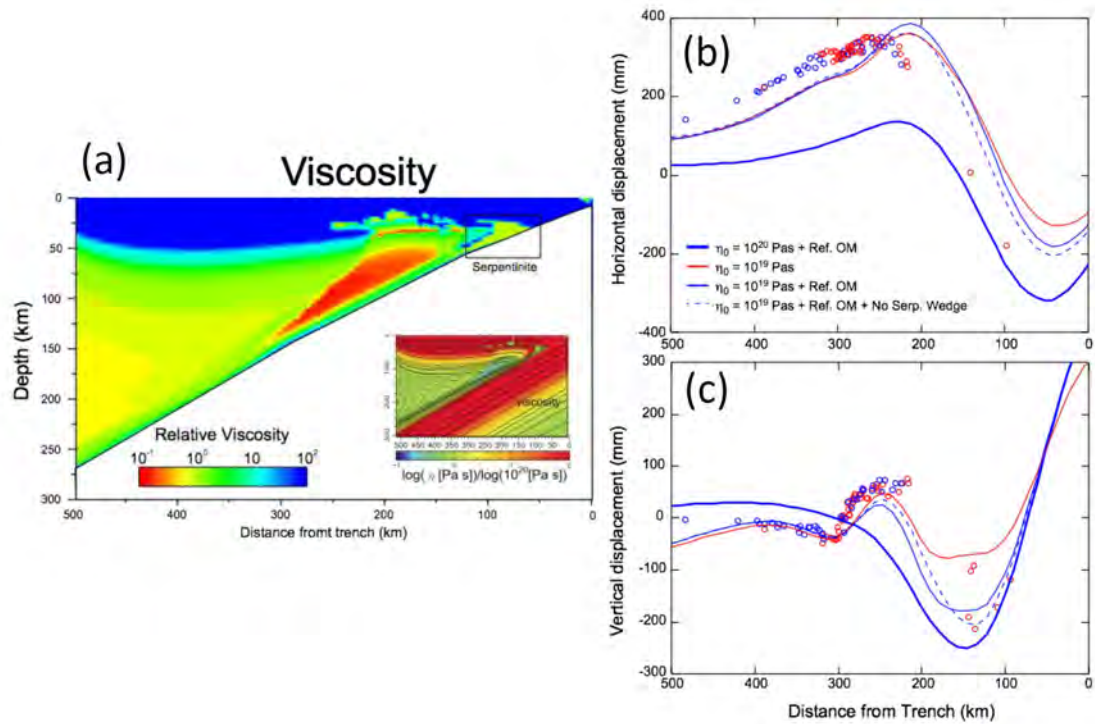


図 7 . 沈み込み帯熱対流モデルを用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動解析結果。

解析期間は 2011 年 4 月 23 日から 12 月 11 日。(a) Horiuchi and Iwamori (2016) による沈み込み帯熱対流モデルに基づき構築した相対粘性分布。(b) 水平変動。(c) 上下変動。青太線は基準粘性を 10^{20} Pa s とし海洋マントル粘性構造として Muto et al. (2016) での最適解を与えたモデル。赤線、青細線、青破線はいずれも基準粘性を 10^{19} Pa s とし、赤線は Horiuchi and Iwamori によるモデル、青細線は赤線に対して Muto et al. の海洋マントル粘性構造を与えたモデル、青点線は青細線から前弧の蛇紋岩低粘性体を削除したモデルによる結果を示す。

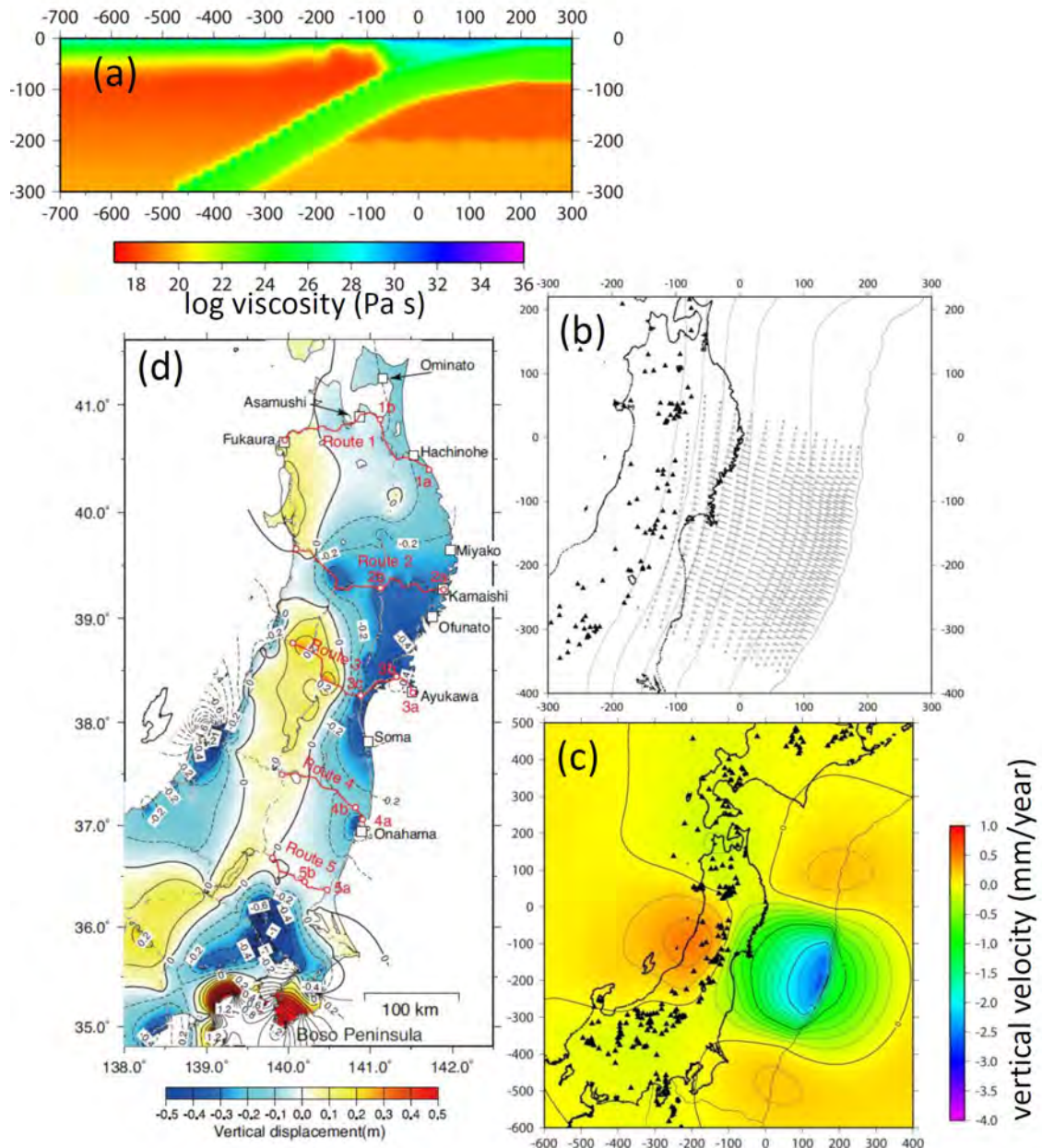


図 8 . 東北沖地震間における東北日本弧の上下変動のモデル化。

(a) 東北沖地震の震源域を含む断面でのレオロジー構造。(b) 仮定したバックスリップの分布。2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域を中心として深さ 0-40 km には 8 cm/year、40-90 km においては 8 cm/year から 0 cm/year に線形に減少するバックスリップを仮定した。(c) 100 年後の平均隆起速度。数 100 年固着させてもパターンは大きくは変わらない。(d) 1883-1906 年から 1986-1999 年の約 100 年間の水準測量によって得られた上下変動(西村, 2012)

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震断層すべり物理モデルの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震は、断層にかかっている応力が脆性破壊強度を上回った時に発生する。このような破壊現象である地震の発生を予測するためには、不均質性に起因する応力集中や流体等に起因する破壊強度の低下の状況を正確に理解しておかなければならない。本課題では、このような観点から、断層面や地殻微細構造の不均質性および流体の存在が地震の発生や規模、破壊過程の複雑性に及ぼす物理化学的影響について、野外観察、構造探査、自然地震観測、誘発地震観測、実験、シミュレーション等から明らかにすることを目的とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震観測

東北地方の臨時観測網の再編成を行い(H26 年度) 観測を継続する。ただし、観測点の移設・継続は、「地殻応答による断層への応力载荷過程の解明と予測」の課題にて実施することにより、経費の節減と観測データの有効利用を図る。地震活動域の拡大速度が流体の拡散で説明できるかどうかを検証し、また、メカニズム解データなどから得られる応力場の時空間変化から、背景となる絶対応力場と間隙流体圧の時空間変化を推定する(H26 ~ 30 年度)。さらに、震源域の構造を詳細に推定するとともに、地震波干渉法や相似地震等を利用して、流体の移動に関わる構造の変化の検出を試みる(H26 ~ 30 年度)。

電磁気観測

過去に行われた電磁気観測のデータを解析することにより、臨時地震観測網によって詳細な震源分布が得られている地域での三次元比抵抗構造を推定し、地震活動域における比抵抗構造の特徴を抽出する（H26～30年度）

岩石の変形特性に及ぼす高間隙水・フュガシティの効果

内圧式岩石 水反応実験装置を用いて、地震発生帯の環境下での断層面の透水性と反応性を明らかにし、すべり挙動実験とフィールド観察を通じて検証を進める。特に、高間隙水圧下での破壊のパターンと透水特性との関係を明らかにし、地震発生帯での透水特性を調べる（H26～29年度）。また、固体圧変形試験機を用いて、地殻 - 上部マントル条件での岩石の流動強度に及ぼす水の効果を明らかにする（H26～29年度）。封圧を変化させることで、水のフュガシティを変化させ塑性流動強度に及ぼす水の効果を定量化する（H27～30年度）。

CT 観察による地殻流体の実態の把握

深部地殻・最上部マントルからもたらされた捕獲岩中に間隙流体が存在していた空隙の形態を探るために、捕獲岩のX線CT撮影と画像解析を進める。減圧時に生じるクラックを正確かつ効率的に分離するための画像処理方法の改良を行い、流体の体積分率（空隙率）・連結度・形状を定量化する（H26～27年度）。さらに、得られた結果を用いて、地下での弾性波速度と電気比抵抗を計算する（H27年度）。X線CT撮影を行った試料の研磨断面を作成し、電子線後方散乱回折法（EBSD）によって結晶定向配列を定量的に測定し、岩石の変形と流体分布との関係を明らかにする（H28～29年度）。流体の連結度に敏感な電気比抵抗分布と応力場とを比較し、実験から得られた岩石の変形と流体分布との関係がマクロスケールに影響しているかどうかを検証する（H29～30年度）。

地震発生帯における地殻流体の熱力学情報の精密化と実フィールドでの検証

地震発生帯の温度圧力環境における岩石 - 水反応の熱力学データベースの改良と地熱流体の状態方程式の精密化、岩石 - 水反応に大きな影響を及ぼす誘電率に関する岩石実験とその定式化を行い、それらを組んだ水 - 岩石相互作用シミュレータを作成する（H26～29年度）。これを用いて水 - 岩石相互作用による間隙水圧の上昇をシミュレートし、その結果と実フィールドでの地質学的観測結果との整合性についての検討を進める（H27～30年度）。

地熱流体と内陸地熱誘発地震

地熱地帯の注水井を模した装置を用いて、地下の岩石中の流体の移動と破壊を同時に計測することにより、地熱地帯における誘発地震発生のモデル化を行う（H26～30年度）。さらに、実際の地熱地帯において地震観測データを用いて、注水状況と地震活動の時空間変化について比較検討する（H26～30年度）。

断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

断層長さの広いスケール領域でエネルギー解放率と各階層のジョグの破壊エネルギーは等しいと期待されるが、この様な破壊エネルギーの実測値はほとんどないことから、これらを充実化させるための実験を行う（H26～29年度）。また断層運動は散逸系なので断層帯の不均質性は進化することになるため、様々なスケールの観察を通じて、この断層の不均質性の進化の過程と内陸地震の多様性の起源についてモデルを構築する（H27～30年度）。

地震断層すべり物理モデルの構築

観測から得られた結果から、断層や地震活動域と流体の存在域との位置関係関係を把握し、実験結果に基づき、岩石の非弾性変形に起因する断層への応力集中機構をモデル化する。また、CT スキャンから得られた流体の流路の情報と水 - 岩石相互作用シミュレータにより高間隙水圧の生成をモデル化し、地熱地帯の誘発地震に関する実験・観測からそのモデルの妥当性を検証する。さらに、断層面の不均質性や強度について、進化の過程と流体の影響という観点からモデル化し、地震発生と流体との関係や地震の多様性の根本原因を解明することを目指す（H29～30年度）。

（ 8 ）平成 28 年度の成果の概要：

地震観測

東北沖地震後に発生した山形県米沢地域から福島県会津地域にかけての内陸地震群について、地震波の後続波を確認し、震源域より深い領域での反射波を確認した。この反射波の原因としては、地下のほぼ水平な薄い流体だまりが考えられ、この地域の地震活動に流体圧の上昇が関わる可能性が考えられる(図1)。また、この領域の地震に対してメカニズム解を推定し、断層面のおよその配置を確認することができた。

2011年東北沖地震後に誘発された仙台大倉における migration する群発地震活動について、気象庁一元化カタログデータに加えて、波形相関およびクロススペクトル法により得られた到達時刻差データに Double-Difference 法を適用して震源再決定を行った。得られた震源は、複数の面状に分布し、その面の方向はメカニズム解の片方の節面の方向とほぼ一致する(図2)。この方向は広域応力場から見て unfavorably-oriented であり、その面の摩擦強度が著しく低下していたことを示唆する。震源の migration は流体拡散に伴う間隙水圧の増加で説明でき、摩擦強度の低下も同様に間隙水圧の増加により説明可能である。

電磁気観測

昨年度に実施した新潟-福島横断測線の MT 観測結果を解析した結果、茨城県-福島県境付近や郡山盆地西側の奥羽山脈での地震活動は、前弧側低比抵抗領域の浅部に位置する高比抵抗域で起こっており、その深部に低比抵抗域が存在しているという、他の地域でこれまで認められているのと同様の関係が認められた。解析結果の詳細については課題番号 1203 の報告を参照。

秋田大学がこれまで観測してきた全ての秋田県内の広帯域 MT 観測データの所在を整理し、全てのデータから 3次元比抵抗構造を推定する為に 3次元解析コード用のデータフォーマット変換スクリプトを作成した。

岩石の変形特性に及ぼす高間隙水・フガシテの効果

今年度は昨年度から封圧条件を増やしてアノーサイト多結晶体に対して変形実験を行った。条件は封圧 0.8-1.4 GPa、温度 900 °C、歪速度 $10^{-4.5} \text{ s}^{-1}$ と 10^{-5} s^{-1} である。これまでに得られたデータから一定歪速度 (10^{-5} s^{-1}) の実験の強度とフガシテ(封圧)の関係を示したのが図 3a である。破線で示した Rybacki et al. (2000) による構成則は、フガシテと活性化体積の効果を含まないため、封圧によらず強度一定を予測する。一方、実線で示した Rybacki et al. (2006) による構成則ではフガシテ依存項(飽和含水条件なら圧力により軟化)と活性化体積項(圧力により硬化)を含むため、飽和条件を仮定すると、本実験条件では活性化体積による圧力硬化を予測する。実験結果はいずれの構成則より低い強度を示しており、フガシテの効果による弱化的程度が予測より大きいか、もしくは Rybacki et al. (2000) のように強度フガシテに依存しない可能性を示唆する。また同一条件でも時間、あるいは変形量の増加とともに強度が低下する傾向が見られた(図 3b)。ただし、封圧 1.4 GPa の実験は降伏後も歪硬化を示しており、今後、詳細な検討が必要である。

CT 観察による地殻流体の実態の把握

蛇紋岩化した前弧マントルウェッジの弾性波速度は、含水相として主に蛇紋石 (Antigorite) のみを想定し解釈されてきた (e.g., Reynard, 2007)。しかし、実際に高温高压での加水反応実験を行った結果、かんらん石より Si に富む輝石の反応性が高いため、蛇紋石より Si に富む滑石も同時に生成することが分かった(最大で蛇紋石と同量)。実験結果を元に、含水鉱物として滑石を含む場合の弾性波速度を計算した結果 (VRH 平均) を図 4 に示す。含水化の程度が同じでも、蛇紋石を含む場合より V_p と V_s の低下量は約 1/3 にとどまり、また V_p/V_s は無水の場合とほとんど変わらない。このことは、観測で V_p や V_s の低下量が小さく、また V_p/V_s が大きくないと推定された場所でも、含水化が進んでいる可能性を示している。そのような特徴が見つかる場所では、摩擦強度が低い滑石の存在により弱化的が起っている可能性がある (Hirauchi et al., 2016) ため、速度構造から岩石の性質を推定するには注意が必要である。

一方、実験により前弧マントルウェッジの蛇紋岩化速度を求め、それに基づき、スラブからマントルウェッジに供給された水が地表に湧出してくる際の条件について検討を行った(図 5; Nakatani and

Nakamura, 2016)。その結果、四国や Cascadia のような温かい沈み込み帯では反応速度が速いので、前弧マントルが十分に飽和してから水が湧出してくるのに対して、九州や Costa Rica のように中間的な温度の沈み込み帯では反応速度が比較的遅いことなどから、マントルによる吸水が遅くて水に未飽和なマントルを通過して水が湧出している可能性が高いことが分かった。このことは、温かい沈み込み帯であるにもかかわらず、トモグラフィ結果が前弧マントルの含水鉱物化を示さない場合には、流体はスラブ・マントルウェッジ境界にトラップされている (e.g., Seno, 2005) 可能性が高いことを示しており、そのような場所では間隙圧が高く深部低周波微動が起こりやすい (Nakajima and Hasegawa, 2016) という解釈を支持する。

地震発生帯における地殻流体の熱力学情報の精密化と実フィールドでの検証

これまでの高圧・高温における塩水中の石英の溶解度測定実験結果から、1 重量モル濃度の塩水 (1 m NaCl 溶液; 1 kg の水あたり 1 mol の NaCl を溶かした液) の見かけの誘電率を、500-2000 bars (50-200 MPa), 25-550 °C の範囲で見積もることが出来た。この圧力・温度範囲では、塩水の見かけの誘電率 (ϵ_b) と水の誘電率 (ϵ_w) の比は次のガウス関数で近似出来る:

$$\epsilon_b / \epsilon_w = a / (2 \pi b)^{0.5} \exp(- (T - T_0)^2 / (2 b)) + d,$$

ここで ω は円周率、T は温度 (K)、 a, b, c, d は定数で、それぞれ 300、13000、573、0.8 である。この誘電率により、塩水中の溶質の自由エネルギー (化学ポテンシャル) を正確に見積もることができ、これにより石英が沈殿する領域の推定等、地震学的に重要な情報を推定するための地殻中の水-岩石相互作用の、より精密な解析が可能となると期待される (図 6)。

地熱流体と内陸地熱誘発地震

岩石-流体相互作用により、岩石の溶解と析出による地殻の透水-不透水層境界の形成について、実験的に明らかにした。その結果、350 °C の温度付近では急激な溶解による流体貯留スポットの形成、400 °C 前後でのシリカの急激な沈殿による不透水層の形成を示すことが出来た (図 7)。

断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

2016 年熊本地震の 4 月 14 日 21:26 に発生した前震 (M6.4) は日奈久断層帯で起きたが、4 月 16 日 01:25 の本震 (M7.3) と 4 月 18 日までの M5.4 以上の地震は、布田川断層帯とその北東延長部で起きた。そこでは応力の解放過程が進行し、日奈久断層帯では逆に応力蓄積過程が進行したと思われる。その相違は b -値に反映されるであろうと考え、前震以後 7 月 24 日までの 5804 個の地震を調べた。震源分布を見ると、図 8a に示したように大分、阿蘇、布田川、日奈久の 4 つのクラスターを形成している。このうち、大分以外の各クラスターの b 値の時間変化を図 8b に示した。いずれのクラスターでも熊本地震の直後には b 値が 1 より有意に小さいが、大分 (図 8b には示していない) 阿蘇 布田川の順に遅れて 1 に向かって回復した。それとは対照的に日奈久クラスターの b 値は本震後も 0.75-0.84 に留まり続けており、今後の推移を注意深く見守る必要がある。なお布田川 + 日奈久のクラスターに相当する領域で 2010 年 1 月から熊本地震直前までに起きた 129 個の地震の b 値は 1.0 であった。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等):
長谷見 晶子・高橋 承之・岡田 知己, 2016, 山形県米沢 福島県会津の誘発地震域における反射波の検出, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS26-P02.

Nakatani, T., and M. Nakamura, 2016, Experimental constraints on the serpentinization rate of fore-arc peridotites: Implications for the upwelling condition of the slab-derived fluid, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 17, doi:10.1002/2016GC006295.

大槻憲四郎, 2016, 熊本地震前後の b -値の時空間変化, 日本地質学会第 123 年学術大会講演要旨, R-14-O3.

鈴木真奈美, 2017, メカニズム解による米沢-会津地域の断層面の推定, 山形大学卒業論文, 30pp.

Watanabe, N., T. Numakura, K. Sakaguchi, H. Saishu, A. Okamoto, S. E. Ingebritsen, and N. Tsuchiya, 2017, Potentially exploitable supercritical geothermal resources in the ductile crust, *Nature Geosci.*, doi:10.1038/NGEO2879.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

地震観測

東北地方陸域、特に、誘発地震発生域での臨時観測を継続し、地震活動・構造・応力場の詳細な推定を引き続き行う。特に山形付近の観測については、山形大学の協力も得ながら進める。

電磁気観測

追加観測も実施して、これまでに得られたデータの 3 次元解析を進め、得られた比抵抗構造と地震学的構造や地震活動との関係を抽出し、流体分布推定の精緻化を行う。

岩石の変形特性に及ぼす高間隙水・フュガシティの効果

不足している低封圧 (0.4 - 0.8 GPa) の実験を行い、強度 - フュガシティの関係図を補強する。また、保持時間を変えるなどして時間と変形量が強度に与える影響を調べる。カンラン石などでは、フュガシティは結晶中に溶け込む含水量を左右するため、FTIR によって試料中の含水量分布を調べる。また試料中に水が飽和するために必要な含水量・時間の検討を行う。

CT 観察による地殻流体の実態の把握

一の目瀉の捕獲岩を用いた地温勾配の制約や下部地殻の部分融解度の研究を継続するとともに、トモグラフィや MT 観測による水の存在 (量) の解釈にとって本質的である二面角の測定実験を、下部地殻 - 最上部マントル構成鉱物と多成分 (H₂O-CO₂-NaCl) 系流体について行う。

地震発生帯における地殻流体の熱力学情報の精密化と実フィールドでの検証

より高圧 (300 MPa 程度) での塩水の誘電率を見積もるための石英の溶解度測定実験を行う。すでに開発済みの水 - 岩石相互作用シミュレータ (MIX99) に、上記の誘電率を組み込み、地震発生領域の圧・温度における地殻流体と岩石の反応の解析・シミュレーションを可能にする。

地熱流体と内陸地熱誘発地震

鉱物の溶解析出と、流体流路の確保に関する数値シミュレーターを整備して、流体滞留ゾーン (いわゆるブライトレイヤー) と、シリカセルフシーリングゾーン (透水-不透水境界) の半定量解析を目指す。

断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

熊本地震の今後の活動について解析を続け、これまで解析した他の断層の解析結果と合わせて、断層の不均質性の進化の過程と内陸地震の多様性を解明を目指す。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田知己・松澤暢・市来雅啓・矢部康男・山本希・高木涼太・吉田圭佑・土屋範芳・武藤潤・大槻憲四郎・中村美千彦・奥村聡・佐々木理・他計 15 名程度。

他機関との共同研究の有無：有

地震観測は北海道大学 (勝俣啓・高橋浩晃) 弘前大学 (小菅正裕・渡邊和俊) 名古屋大学 (山中佳子) 京都大学防災研究所 (片尾浩・飯尾能久) 九州大学 (松島健・松本聡) 鹿児島大学 (宮町宏樹・後藤和彦) をはじめとした全国連携の共同研究。

電磁気観測は秋田大学 (坂中伸也)・東京工業大学 (小川康雄) との共同研究。

流体の分布・挙動については広島大学 (星野健一) との共同研究。

データ解析については東京工業大学 (中島淳一) との共同研究。

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：松澤暢

所属：東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

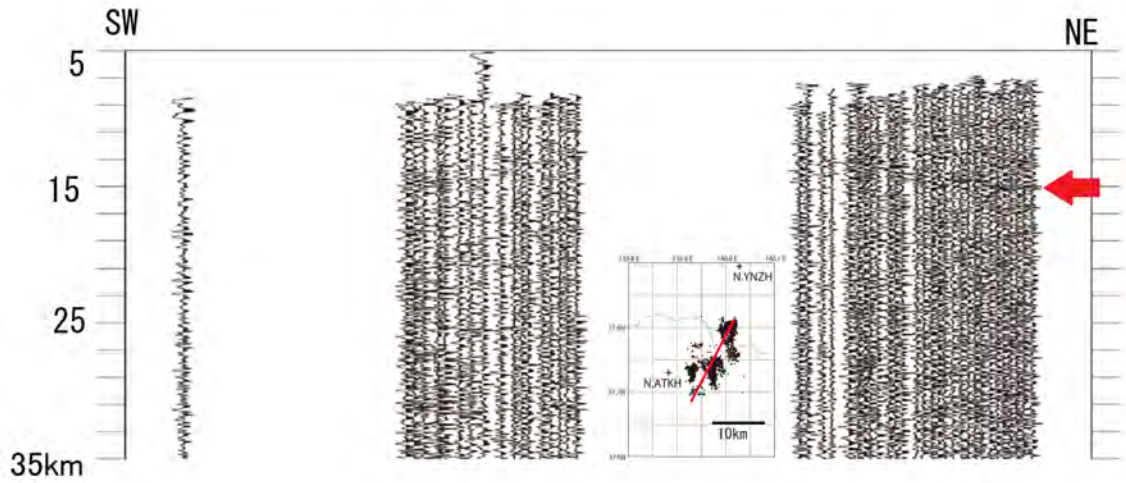


図1 . 山形県-福島県の県境付近の地震群に見られる反射波の例。

N.VNZH 観測点で観測した地震波の NS 成分について、挿入図の赤線で示す測線に沿った NMO 記録断面を示す。測線から 0.5km 以内に震央がある地震のみを使用した。水平方向を深さ方向の約 4 倍に引き伸ばしていることに注意。深さ 15km 付近に赤矢印で示したように反射波と考えられる位相が認められる。

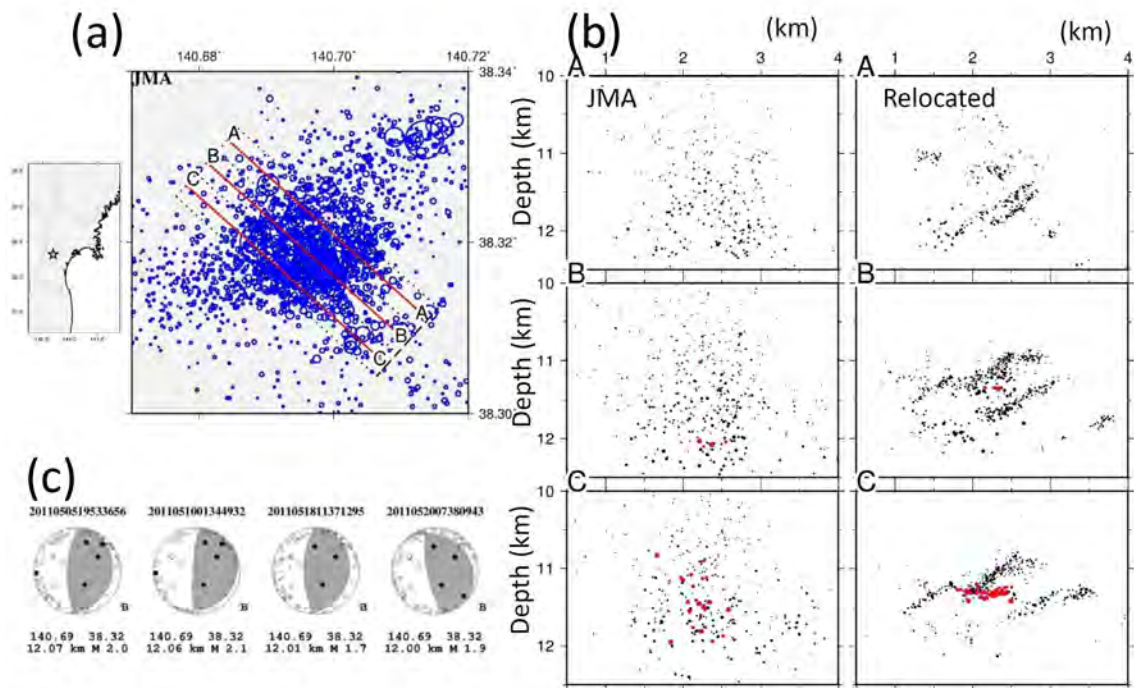


図 2 . 東北沖地震後に仙台市大倉ダム周辺で誘発された migration する群発地震活動。
 (a) 気象庁による震央分布。(b) 図 (a) に示した A, B, C の測線の断面図。気象庁による震源分布 (左) と、波形相関およびクロススペクトル法により得られた到達時刻差データに Double-Difference 法を適用して震源再決定を行った結果 (右) を示す。(c) 図 (b) の赤丸で示した地震のメカニズム解の例。水平に近い節面が断層面と考えられる。

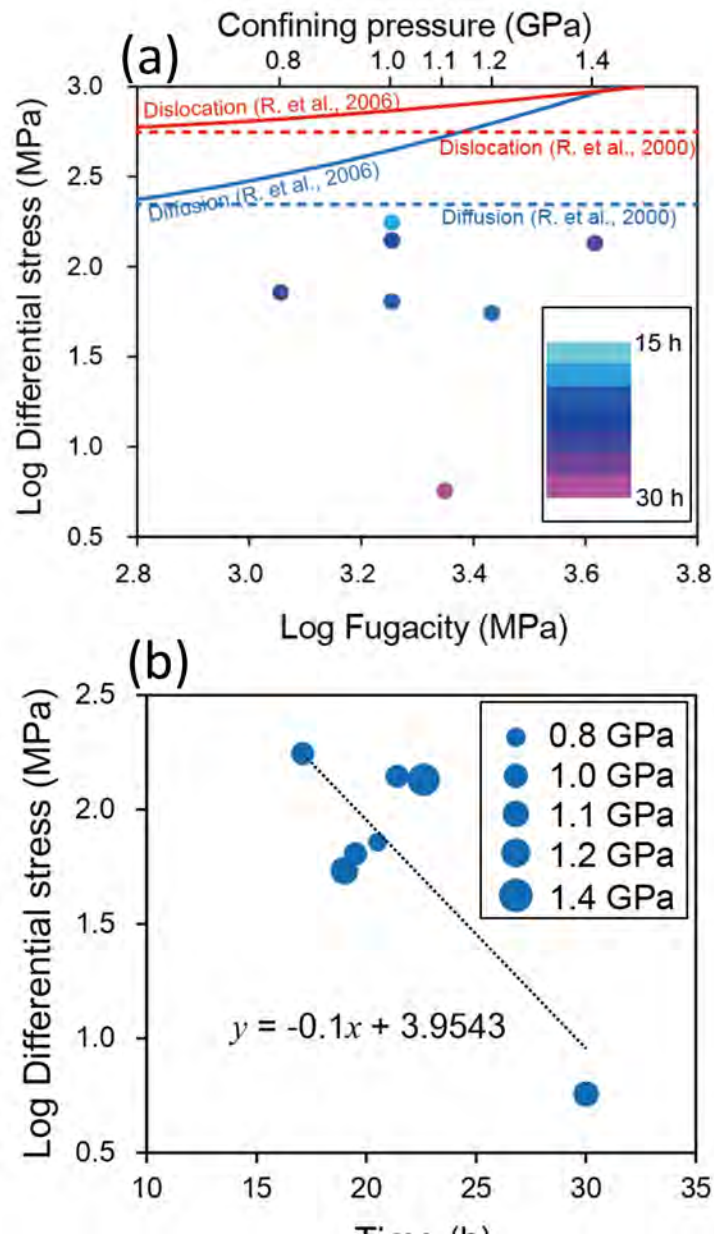


図3. アノサイト多結晶体の変形実験による強度とフュガシティの関係。
 (a) 一定歪速度 (10^{-5} s^{-1}) の実験の強度とフュガシティ (封圧) の関係。実線は Rybacki et al. (2006) による wet アノサイトの変形実験から得られた構成則に基づく予測線であり、破線は Rybacki et al. (2000) による構成則に基づく予測線である。それぞれ赤線が転位クリープ、青線が拡散クリープによる変形を仮定している。(b) 強度の時間依存性。シンボルの大きさは封圧を表す。

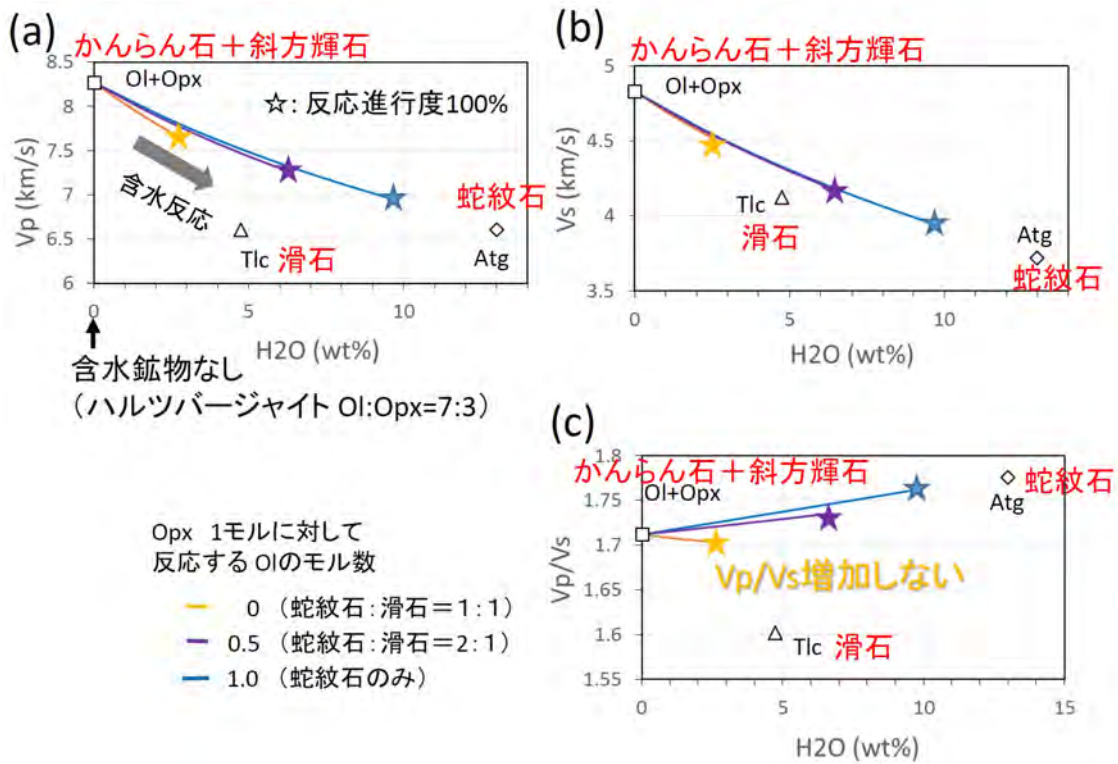


図4. 加水反応実験に基づく前弧マントルウェッジの弾性波速度の岩石学的モデル。

V_p , V_s , V_p/V_s をそれぞれ図 (a), (b), (c) に示す。それぞれの図の左端が無水のハルツバージャイト (斜方輝石かんらん岩) の場合であり、それが水と反応することによって地震波速度が変化していく状況を線で示す。星印は反応が完全に進んだ状態を示しており、星と線の色は斜方輝石 (Opx) 1モルに対して反応するかんらん石 (Ol) のモル数を表し、黄色の場合は蛇紋石と滑石が同量生成され、水色の場合は蛇紋石のみ生成されることを意味する。滑石 (Tlc) と蛇紋石 (Atg) の弾性波速度と含水率の大きさを、三角印と菱形印でそれぞれ示す。

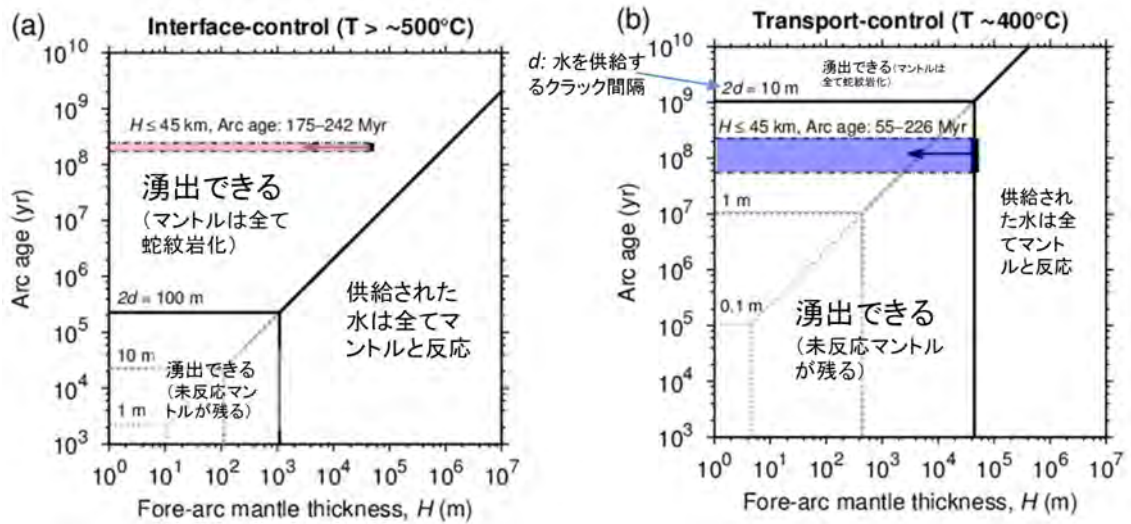


図5. 実験によって推定された前弧マンタルウェッジの蛇紋岩化速度から推定されるスラブ由来流体の湧出条件 (Nakatani and Nakamura, 2016)

温かい沈み込み帯 (500-580 程度) と中間的な温度の沈み込み帯 (400 程度) の状況をそれぞれ図 (a) と図 (b) に示す。横軸は前弧マンタルウェッジの厚さで、縦軸はその島弧で沈み込みが始まってからの時間、図中の d は水を供給するクラックの間隔を表す。(a) では表面反応律速で反応が速く、(b) では拡散律速で反応が遅くなるため、色を付けた部分のように前弧マンタルウェッジが 45 km 以下の領域に注目すると、(a) の条件下ではマンタルウェッジがすべて蛇紋岩化してから水が地表に湧出して来る可能性が高いのに対して、(b) の条件下では、地表に水が湧出していたとしても、マンタルをすべて蛇紋岩化してはいない可能性が高いことを意味する。

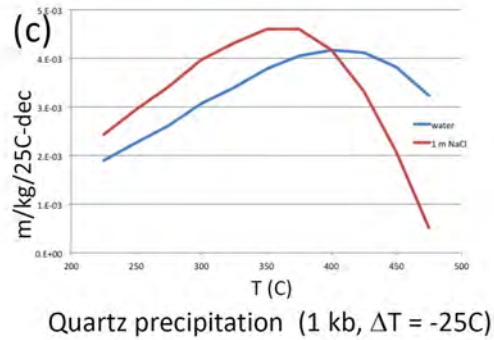
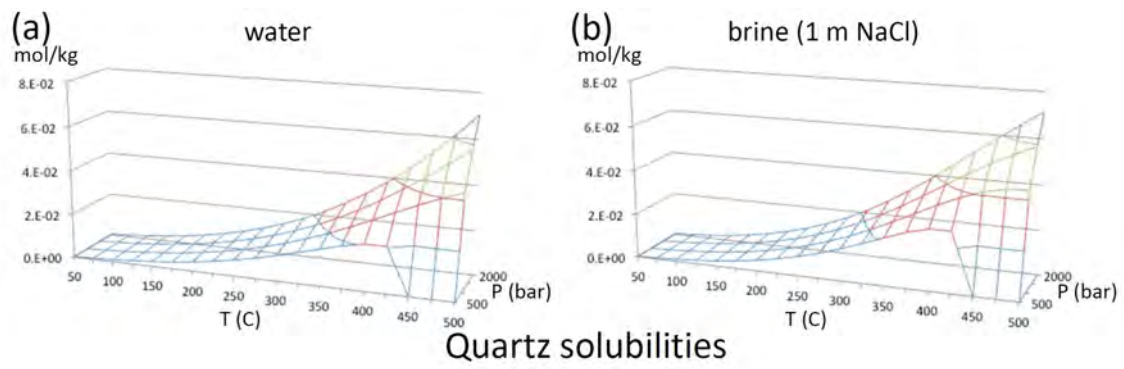


図 6 . 実験から推定された石英の溶解度。

水と 1 重量モル濃度の塩水中の石英の溶解度をそれぞれ図 (a) と図 (b) に示す。図 (c) は、1 kb (100 MPa) 定圧の条件で、石英が溶け込んだ 1 kg の水と 1 重量モル濃度の塩水から、温度が 25 度下がるごとに沈殿する石英のモル数を示す。1 重量モル濃度の塩水なら温度 350 で効率よく石英を沈殿させることができることがわかる。

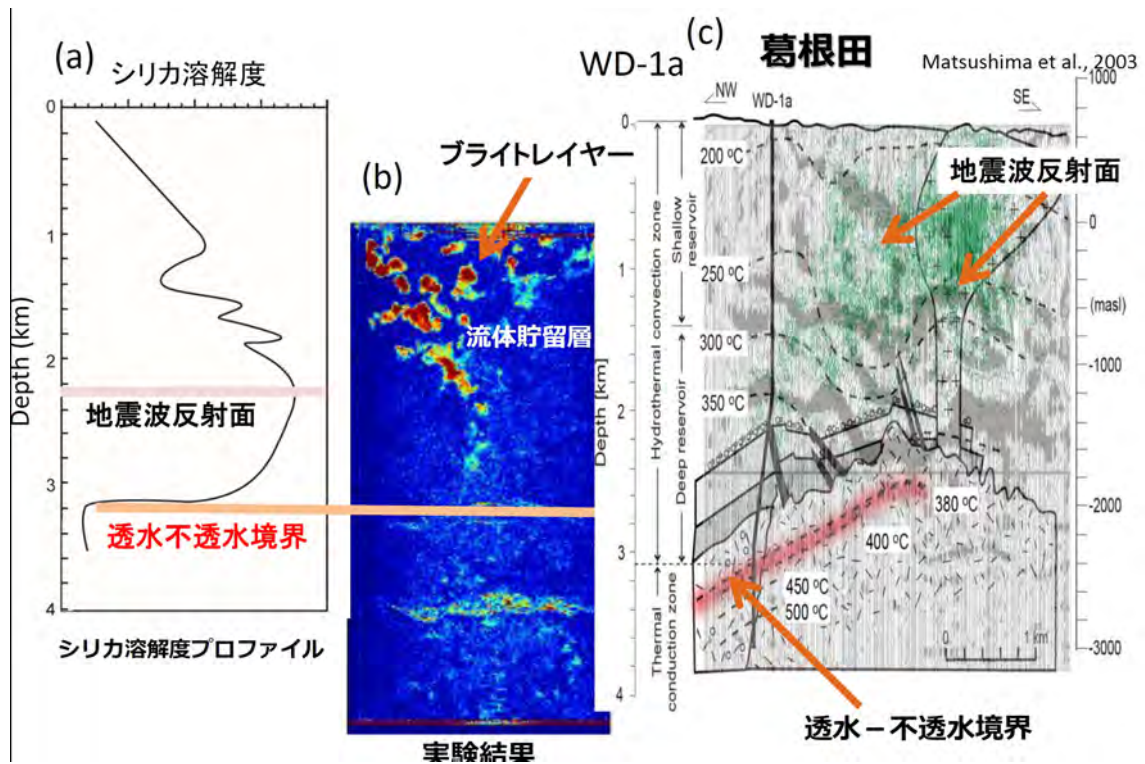


図 7. 透水-不透水境界の再現実験結果。

(a) 期待される石英の溶解度の深度プロファイル。(b) 実験で再現された流体貯留層と透水-不透水境界。(c) 葛根田における地震波反射面(ブライトレイヤー)と透水-不透水境界。地温勾配が高いため、深さ 2 km 程度という浅部で超臨界水となるために石英の溶解度が上がり、一方、図 6a や 6b の低圧域(500 bar 付近)に見られるように 450 °C 付近で急激に溶解度が下がるために沈殿が生じる。このため、深さ 2 km 付近に流体貯留層が形成され地震波反射面(ブライトレイヤー)となって観測されることになる。

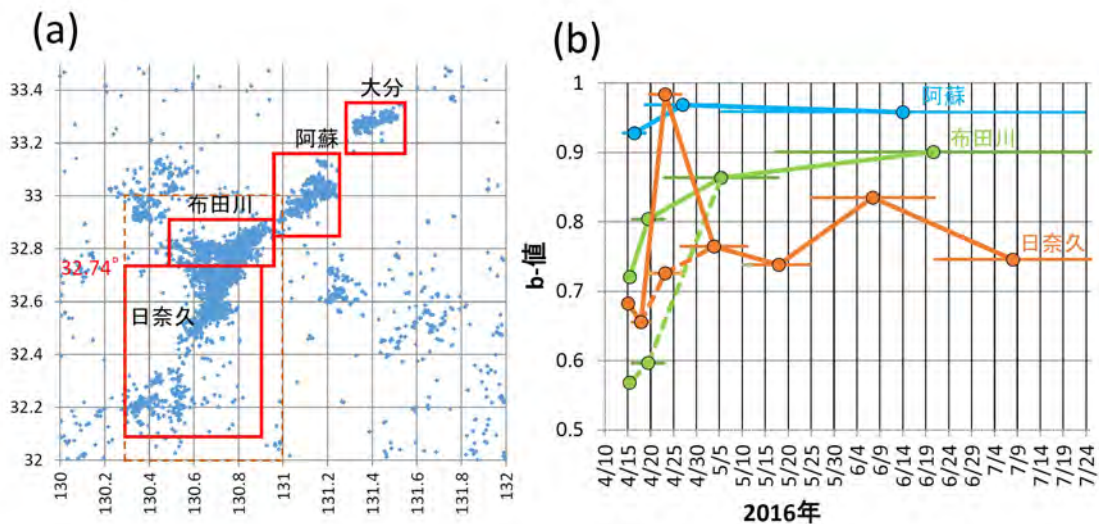


図 8. 熊本地震前後の b 値の時空変化。

(a) 熊本地震に関わる震源分布図。赤い四角で囲った 4 つのクラスター毎の b 値の時間変化を求めた。(b) 阿蘇、布田川、日奈久のクラスター毎の b 値の時間変化。b 値を求める際には地震の個数が 200 を越えるように期間を区切った。それぞれの期間を横線で示す。17 個のデータセットの中、4 セットについて規模別対数頻度分布の関係が上に凸の 2 本の折れ線で近似されたため、その場合 M が大きい領域の b 値の変化のトレンドを破線で示している。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

岩石組織に基づく火道浅部プロセスの推定手法の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

1. 浅部火道条件における珪長質メルトの結晶化カイネティクスを明らかにし、新燃岳 2011 年噴火を例に、マグマの浅部滞留時間と噴火様式の分岐点の関係を明らかにする。
2. 軽石・火山灰中の火山ガラスの結晶度の分析時間を短縮する技術開発を行い、活動中の火山の火道浅部におけるマグマの状態を物質科学的に推測する(岩石学的モニタリング)手法を考案する。
3. 浅部火道条件における、安山岩質メルトフォームの表面張力による組織緩和と圧密のメカニズムを実験的に明らかにし、ガス過剰圧の蓄積過程を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、項目 1 について、2011 年新燃岳噴火噴出物の記載的研究を実施する。噴火様式(サブプリニー式軽石、ブルカノ式軽石・本質石質岩片)ごと、石基結晶の鉱物種ごとに、結晶サイズ分布(CSD)を調べる。噴火様式の違いに着目したナノライトの CSD データはこれまでに報告例がない。

平成 27 年度においては、項目 1 について、噴火事例についての岩石記載的研究についての成果をまとめるとともに、過冷却メルトの結晶化実験を実施する。また項目 3 について、メルトフォームの組織緩和実験を行う。火道浅部を再現した低圧高温実験を行うことにより、CSD と結晶化時間などの関係を、定量的に把握することができる。再現実験については予備実験を行っており技術的な問題はない。

平成 28 年度においては、平成 27 年度の計画を継続し、それぞれの実験について、温度・結晶化時間・水蒸気圧・メルト組成などの条件を変えた対照実験を追加する。これにより、幅広い噴火事例に

応用が可能とする。メルトフォームの組織緩和実験については、組織緩和の程度と、ガス浸透率の関係を調べるとともに、緩和速度とブルカノ式噴火の発生頻度との関係について検討を行い、実際の爆発的噴火における火道浅部条件を推定できるようにする。

平成 29 年度においては、項目 2 の研究として、噴火活動時に、噴出物に含まれる結晶量を短時間で簡便に測定するため、マイクロライト・ナノライトを含む試料の可視分光あるいは X 線回折分析を行う。平成 28 年度までに得られた実験をもとに、項目 1、3 について、実験的研究によって得られた成果をまとめる。

平成 30 年度においては、最終年度は、5 年間で総括し、本課題から提案する、火道浅部での噴火様式の分岐条件を「2(4)事象系統樹の高度化による火山噴火予測」にフィードバックするとともに、今後の課題を総括し、文書にまとめる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

項目 1 の研究として、霧島火山新燃岳 2011 年噴火事例についての岩石記載的研究についての成果をまとめた。これについては論文として投稿したので、下記にやや詳しく記す。項目 1、2 の研究として、過冷却メルトの結晶化実験を継続して行い、従来の温度・水蒸気圧・メルト組成の各条件について、結晶化時間を延長した実験を継続中である。項目 3 の研究である、メルトフォームの組織緩和実験については、さらにサイズの大きな試料を用いた実験を追加し、緩和組織に対するサイズ効果、および組織緩和の程度とガス浸透率の関係を調べる実験を継続中である。これらは概ね当初計画(上記(7))に沿って進めてきた。

新燃岳 2011 年噴火では、サブプリニー式噴火とブルカノ式噴火、火口内への溶岩噴出の異なる噴火様式が観察された(図 1)。これまでの研究により、このような噴火様式の違いは、サブミクロンスケールでの石基鉱物の結晶サイズ分布に記録されていることが明らかとなっている(Mujin and Nakamura, 2014)。まず、サブプリニー式噴火とブルカノ式噴火の分岐は、輝石ナノライトの晶出より後で起こっている。また、ブルカノ爆発は、斜長石ナノライトの晶出よりも後に起こっている。さらに、高倍率観察を進めたところ、マグマが火口内で固結して形成されたと考える本質石質岩片・溶岩ブロックの中に、1 直径ナノメートル程度の FeTi 酸化物を晶出しているものと、そうでないものの二種類があることがわかった。これは、火口まで気泡流として上昇してきたマグマが固結したものと、一度破碎したマグマが火口内で再溶結したものとに対応すると考えられる。これらの結晶化条件(圧力・含水量、温度、酸素分圧)を実験によって明らかにして行くことで、噴火様式の各分岐点を制約することができると考えられる(図 1)。

引用文献：

Mujin, M., M. Nakamura, 2014, A nanolite record of eruption style transition, *Geology*, 42, 661-614.

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Yoshimura, S., M. Nakamura, H. Yurimoto, 2017, Presence of carbonate ions in high-SiO₂ rhyolite observed in fluid-melt equilibrium experiments, *Geochem. J.*, 51 (in press).

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 29 年度においては、研究項目 1 について、新燃岳 2011 年噴火噴出物の石基結晶作用に関する論文の修正を行うとともに、より高倍率でのナノライト・ウルトラナノライトの観察・記載的研究を継続し、噴火様式の分岐点と石基の結晶作用との関係について調べる。項目 2 の研究として、噴火活動時に、噴出物に含まれる結晶量を短時間で簡便に評価し、その時間変化をモニタリングする手法を開発するため、マイクロライト・ナノライトを含む試料の初期帯磁率分析を行う。項目 3 については、安山岩質メルトフォームの緩和実験によって得られた実験産物の浸透率測定を行い、ブルカノ式噴火の「ガス溜まり」に必要とされる低浸透性の蓋の形成過程を明らかにする。特に、空隙構造の緩和速度とブルカノ式噴火の発生間隔との関係について検討を行い、実際の爆発的噴火における火道浅部条

件を推定する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東北大学大学院理学研究科地学専攻 中村美千彦、奥村聡

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学大学院理学院自然史科学専攻 吉村俊平

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科地学専攻

電話：022-795-6673

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.es.tohoku.ac.jp/JP/index.html

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中村美千彦

所属：東北大学大学院理学研究科地学専攻

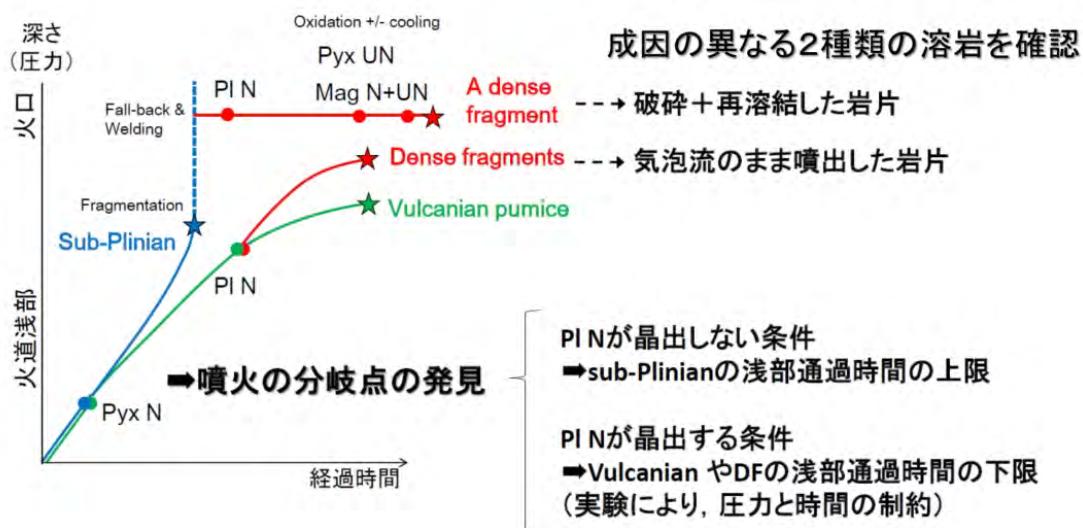


図1 噴出物石基のナノスケール観察から制約される噴火様式の分岐点

霧島火山新燃岳 2011年噴火における、サブプリニー式噴火・ブルカノ式爆発・火口内溶岩形成の分岐点と、石基ナノスケール結晶(ナノライト・ウルトラナノライト)の晶出のタイミングとの関係を表す概念図。これらのナノスケール鉱物の晶出条件を決定することで、各噴火様式の際の、マグマの火道浅部通過時間などに制約を与えられる可能性がある。Pl, 斜長石; Pyx, 輝石; Mag, 磁鉄鉱; N, ナノライト; UN, ウルトラナノライト。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震活動の時空間パターンと断層および地震サイクルとの関係

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究課題では、気象庁一元化震源カタログなどの既存震源データの時空間解析を最新の統計学的手法によって解析・評価し、最近の大地震や既知の断層活動履歴データと結びつけることによって、断層の地震サイクル中の地震活動の時空間変化に共通する特徴を検出する。これによって、プレート境界および活断層周辺の現地震活動が地震サイクル中のどの時間的位置付けにあるのかを明らかにし、歴史地震・古地震・地質調査以外の手法によって大地震の長期的切迫度をはかる評価法を開発する。特に、時空間解析にあたっては、震源再決定や波形相互相関テンプレート法などの最新の知見・技術を導入し、一元化震源データ以上の高精度・均質データの整備を平行しておこなう。主断層面(on-fault)とオフフォルトの震源区分とその特性にまで言及できるような検討を目指す。さらに、断層周辺での余震活動や火山活動とそれにともなう群発地震活動、地震の誘発作用、地震活動の静穏化などの時空間統計解析を通じて、断層周辺の地殻応力状態を推定し、地震発生確率の中短期変動を求める。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

5か年の研究目標に到達するために、以下の4つの小課題にわけて研究を実施する。各内容の実施期間は複数年にわたるため【】内に明示した。

1. 地震活動と活断層データの対比：歴史地震との対応や活動履歴データの信用度が高い活断層を中心に、最新活動からの経過年（経過率）を求め、活断層沿いの最近の地震活動の時空間的特徴を抽出する。そのために、地理情報システム（GIS）に地形・地質、活断層情報、地殻変動データ、震源データを統合し、活断層の3次元位置・形態と震源分布を詳細に可視化する。小課題2で実施する震源再決定データ等も活用し、全体の地震活動の活発度やサイズ分布（b値）等だけではなく、断層沿いの集中度といった空間クラスターの特性抽出とその定量化を行う。【平成26年度～平成30年度】また、最近約100年間に発生した地殻内地震に関しては、地表地震断層・推定震源断層と余震の空間的関連性ならびにその時間的減衰過程を明らかにし、広義の余震継続時間を含めた地震サイクル初期の特徴をとりまとめる。【平成28年度～平成30年度】

2. 地震カタログの整備：過去約5年間に検知された気象庁一元化処理震源と走時データを基準にして、気象庁イベントの地震波形から相対走時差データを作成し、震源の再決定を実施する。これにより、列島スケールにわたる高精度な震源分布を推定する。【平成26年度～平成30年度】また、気象庁一元化処理震源をプレート地震とし、その波形と連続波形データとの相互相関解析を施すことで、新たに地震カタログを構築し、本震前後の地震活動度の変化を明らかにする。【平成26年度～平成30年度】

3. 余震活動詳細解析：高密度な機動観測で取得された連続波形データに対して、近年開発された自動地震検出処理と震源決定処理を施し、できるだけ多数の余震の震源情報を抽出する。その後、震源決定精度の高いイベントの高精度な相対走時差データを作成することにより、相対震源決定をおこなう。これにより、相対精度数百m以内の精緻化された余震活動の震源カタログを作成する。同時に、P波初動極性の自動読み取り結果を用いて、微小地震の発震機構解を取得する。さらに、P波からS波のコーダ波を含む波形に対して波形相互相関処理を行うことで、相似地震の検出も実施する。これらの推定された詳細な震源分布と発震機構解・相似地震を比較検討することで、震源断層の微細構造や摩擦特性を明らかにする。【平成26年度～平成30年度】

4. 静穏化検出と地殻変動：研究課題「電磁気的地震先行現象の観測と統計評価による他種の先行現象との比較」によって作成される地震活動静穏化マップを活用し、静穏化範囲と断層の位置とを比較する。また、GPS等による地殻変動との関連性を調べ、断層深部滑りなどによる微小な応力変化との関連性を探る。地震活動静穏化と地殻変動との同期現象を全国一律に検証する。そのなかで、同期現象が大地震に結びついた事例の割合から、異常現象が地震前兆である確率利得を算出し、地震確率予報の高度化につなげる。【平成28年度～平成30年度】異なる震源メカニズムを持つ地震および誘発地震に関係した経験分布を統計学的に再構築し、常時地震活動、地震クラスタリングコンポーネントと全体地震の中で静穏化の有無を検出する。これらの研究から、地震サイクル後半での静穏化メカニズムの解明と破壊直前の標準モデルの構築を目指す。【平成26年度～平成30年度】

(8) 平成28年度の成果の概要：

1. 地震活動と活断層データの対比、地震活動による地震サイクルの解明

断層の摩擦特性と挙動、前震・余震活動などを明らかにするため、南アフリカ大深度金鉱山で地震観測と解析を行っている。Cooke4鉱山では、既存断層の厚さ1m以内に密集する面状クラスターと掘削前線前方の岩盤内に出現する厚さ2, 3mのテーブル状クラスターが見いだされている。これらについて、内部構造の強調処理と波形の類似性による検討を行った結果、前者が既存地質断層面上の微小破壊活動、後者は岩盤中の微小破壊の相互作用で集中化したものであることを確認した（図1）。また、面状クラスターで発生する多数の極微小繰り返し地震（ $-5.1 < M_w < -3.6$, Naoi et al., 2015）を14か月間観測したところ、繰り返し地震活動群32群のうち12群について M_w が時間とともに減少する傾向が認められた（図2）。アスペリティの磨耗現象を捉えている可能性があり、断層の発達過程を考える上で重要である。

活断層周辺の応力状態を推定する手法として、P波初動(押し引き)をデータとした応力空間パターン推定手法(いわゆる「応力インバージョン」)の開発を行った(Iwata, 2016; 岩田, 投稿準備中)。この手法は「断層面の向きは一様ランダム」という仮定の下に、断層面の向き自体を求めることなしに、直接応力場の推定を行うものである。応力場と観測されたP波初動との適合性を二項分布に基づく尤度で評価し、これに空間平滑化の拘束を課して、ベイズ推定の枠組みで応力場を求める。ここではシミュレーションデータに対する解析例を示す(図3)。ここでは、仮定した応力場(図3a)から、図3cに示す3000個の地震に対する5つの観測点におけるP波初動データを生成した。そこから推定された応力場を図3bに示す。また、図3dは仮定した応力場と推定されたそれとの違いを定量化したものの(両者の主応力軸の向きの違いを角度に直したもの、いわゆるKagan角)を示す。結果は、最初に仮定した応力場をほぼ再現している。開発した手法の妥当性が確かめられた。

2. 地震カタログの整備と余震活動詳細解析

余震活動など活発な地震活動中には、大量の地震が同時に発生する。そのため、複数の地震の波形が同時刻に重なって観測点に到達し、地震の欠測が顕著となる。この問題を解決するには、再決定されたプレート地震の波形を用いて連続波形記録から類似のイベントを検出する手法(Matched filter technique)が有効である。今年度もこの手法を用いて既存の地震カタログの整備・拡充を行った。成果事例の1つとして、2016年4月14日以降の熊本地震とそれに関連する一連の地震活動の時空間発展が挙げられる。一連の熊本地震では、4月14日の前震(Mw6.2, Mj6.5)発生以降、地震発生域が時間の経過とともに徐々に拡大する様子を捉えた(図4)。前震域の拡大は、断層の走向方向に加えて傾斜方向(浅い・深い)にも起きており、4月16日に発生した本震(Mw7.0, Mj7.3)の破壊開始点へ向かう動きも見られた。前震域の拡大は、14日の前震を発端としたゆっくりすべり(余効すべり)の伝播によるものと解釈できる。実際、前震発生域の近傍の地殻変動観測点(電子基準点)のデータを分析することで、前震時と同じ方向に地表変位が非定常的に進んだことが確認できた。前震の断層面上でゆっくりすべりが生じたというモデルを支持する。つまり、前震による静的な応力载荷に加えて、ゆっくりすべりによる本震の震源域への応力载荷も進行することで本震の発生が促進されたと考えられる(図5)。また、昨年度から継続して、2014年長野県北部地震の稠密余震観測網(約150点)のデータ解析を実施し、震源域の北部が南部に比べて地震活動の継続時間が長いことを明瞭に示した。さらに、2016年10月に発生した鳥取県中部の地震の前震活動や2016年4月の三重県南東沖地震にともなう地震活動の時空間変化も明らかにした。

初期の余震活動中の地震欠測を埋めるために、上記のプレート法だけではなく統計学的手法も検討されてきた(例えば, Omi et al., 2013)。今年度はあらたに双スケール変換法(bi-scale transformation)とETAS最尤推定値による検討を組み合わせた手法を提案し、熊本地震の余震系列に適用した(図6)。本手法により補充された余震データセットではETASパラメータの最尤推定値が十分に安定していることが確認され、手法の妥当性が証明された。新たに補充された熊本地震のデータセットによって、4月14日M6.5前震の発生後に相対的静穏化が検出された。28時間後の本震(M7.3)の前兆現象とみなすこともできる。

活断層周辺の断層強度や応力状態を誘発作用の観点から検討することもできる。2016年4月16日の熊本地震では、広域で表面波による誘発地震(動的トリガリング)が発生した(Enescu et al., 2016, 図7)。これらの動的トリガリングは火山地域で顕著であり、流体の変動による影響も考えられる。誘発された活動は、遠くは北海道の阿寒湖火山にまで及び、トリガリングが発生した地点での表面波による応力変化量は数kPa~数10kPaによるとみられ、他の事例に比べて小さな変化で誘発されている。東北や北海道の火山地域を中心として、2011年東北地方太平洋沖地震による影響によって微小応力変化により地震が誘発されやすい環境になっていることが考えられる。

3. 静穏化検出と地殻変動

巨大地震前の地震活動変化を調べるために、ISCの地震カタログから1964年1月から2012年6月までに千島海溝、日本海溝および琉球海溝沿いに発生した実体波マグニチュード5.0以上、深さ60km以浅の地震を選択し、Zhuang et al. (2002)の方法でデクラスタリング処理した後、ZMAPで地震活動

の長期変化を解析した。その結果、9年以上継続する長期静穏化が10回観測され、その内3回は地震モーメント $M_0=3.0 \times 10^{21} \text{ Nm}$ ($M_w=8.25$) 以上の巨大地震に先行する変化であった (Katsumata, 2016)。また、1990年から2014年までに発生した $M_w 8.0$ 以上の地震23個について、地震活動の長期的静穏化が先行していたかどうかを調査した。その結果、バックグラウンドの地震活動が極めて低い場合静穏化の有無が判断できなかった4例を除く19例について、本震発生前に10年程度以上の長期静穏化が見られた。

一方、大地震発生に先行する地震活動の変化として、単純な静穏化だけではなく、静穏化と活発化の組み合わせ (Inouye, 1965) やドーナツ現象 (Mogi, 1969)、ゲーテンベルグ リヒター則における b 値の低下 (例えば、井元, 1991) などが報告されてきた。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震前においても、長期間にわたる地震活動の静穏化 (Katsumata, 2011) や、 b 値の低下 (Nanjo et al., 2012) が報告されているが、課題として統計的有意性の検証の問題が残っている。大地震の発生予測に対する地震活動変化の有効性、即ち互いに独立な2事象「大地震の発生」、「地震活動の変化」が偶然同時期に発生したものでないことを証明するためには、多くの地域や地震を対象に網羅的かつ統計的な検定が必須である。また、「後予知」の問題も挙げられる。多くの地震活動変化は大地震が発生した後の解析から見出されたもので、地震発生前に報告された例はごく一部に限られる。これらの問題を克服するためには、速報性の高い震源情報を用いて(準)リアルタイムに地震活動を網羅的に監視し、統計解析をするシステムを構築することが必須である。本年度は、速報性の高い気象庁暫定震源カタログやHi-net自動処理震源等を用いて自動で様々な地震活動解析を実施し、その簡易結果を表示するシステムの構築を目的としてコードの開発、動作確認ならびに検証を実施した(図8)。

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Chu, A., and J. Zhuang, 2016, Multiple Linear Regression Analyses on the Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. In *Rock Anisotropy, Fracture and Earthquake Assessment*, edited by Y.-G. Li. Pages 219-237.
- Enescu, B., Shimojo, K., Opris, A., and Y. Yagi, 2016, Remote triggering of seismicity at Japanese volcanoes following the 2016 $M_{7.3}$ Kumamoto earthquake, *Earth, Planets and Space*, 68:165, doi: 10.1186/s40623-016-0539-5.
- Han, P., K. Hattori, J. Zhuang, C.-H. Chen, J. -Y. Liu, and S. Yoshida, 2016, Evaluation of ULF seismomagnetic phenomena in Kakioka, Japan by using Molchan's error diagram. *Geophysical Journal International*, 208: 482-490. doi: 10.1093/gji/ggw404.
- Heidarzadeh, M., T. Harada, K. Satake, T. Ishibe, A.R. Gusman, 2016, Comparative study of two tsunami-genic earthquakes in the Solomon Islands: 2015 $M_w 7.0$ normal-fault and 2013 Santa Cruz $M_w 8.0$ megathrust earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2016GL068601.
- Huang, Y. L., S.Y. Zhou, and J.C. Zhuang, 2016, Numerical tests on catalog-based methods to estimate magnitude of completeness (in Chinese with English abstract). *Chinese Journal of Geophysics*. 59:1350-1358. doi:10.6038/cjg20160416.
- Iwata, T., 2016, A Bayesian approach to estimate a spatial stress pattern from P-wave first motion polarities, AGU fall meeting 2016 abstract, San Francisco, USA.
- Ishibe, T., Y. Ogata, H. Tsuruoka, and K. Satake, 2016, Correlation between static Coulomb stress changes imparted by three megathrust earthquakes and post-seismicity revealed from abundant focal mechanism solutions, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2016, July 31- August 5, China National Convention Centre, Beijing, China.
- Kasahara, A., Yagi, Y., and B. Enescu, 2016, etas_solve: A robust program to estimate the ETAS model parameters, *Seismol. Res. Lett.*, 87(5), 1143-1149, doi: 10.1785/0220150240.
- Kato, A., J. Fukuda, T. Kumazawa and S. Nakagawa, 2016, Accelerated nucleation of the 2014 Iquique, Chile $M_w 8.2$ Earthquake, *Scientific Reports*, 6, 24792, doi: 10.1038/srep24792.

- Kato, A., J. Fukuda, S. Nakagawa and K. Obara, 2016, Foreshock migration preceding the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1002/2016GL070079.
- Kato, A., K. Nakamura, and Y. Hiyama, 2016, The 2016 Kumamoto earthquake sequence, *Proc. Jpn. Acad. Ser. B*, doi:10.2183/pjab.92.359.
- Katsumata, K., 2016, Long-term seismic quiescences and great earthquakes in and around the Japan subduction zone between 1975 and 2012, *Pure and Applied Geophysics*, doi:0.1007/s00024-016-1415-8.
- Luo, J. and J. Zhuang, 2016, Three regimes of the distribution of the largest event in the critical ETAS model. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 106(3), 1364-1369. doi:10.1785/0120150324.
- Mildon, Z., S. Toda, J. P. Faure Walker, and G. P. Roberts, 2016, Reassessing all models of Coulomb stress transfer - is variable fault geometry important? Accepted by *Geophys. Res. Lett.*
- 南隆太郎, 直井誠, 石田毅, 中谷正生, 五十嵐俊博, 矢部康男, 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同研究グループ, 2016, 南アフリカ Mponeng 金鉱山地下 3.3km で発生した Mw 2 地震の余震中の Repeating Earthquake, 資源・素材学会 第 13 回若手研究者・学生のための研究発表会, キャンパスプラザ京都, 2016 年 12 月 9 日
- Naoi, M., M. Nakatani, H. Moriya, and Y. Yabe, 2016, Acoustic emission monitoring for mitigating seismic risks in deep gold mines in South Africa, *International Journal of the JSRM*, 12, 19-22.
- Omi, T., Ogata, Y., Shiomi, K., Enescu, B., Sawazaki, K., and K. Aihara, 2016, Automatic aftershock forecasting: A test using real time seismicity data in Japan, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 10.1785/0120160100.
- Reverso, T., Marsan, D., Helmstetter, A., and B. Enescu, 2016, Background seismicity in Boso Peninsula, Japan: Long-term acceleration, and relationship with slow slip events, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 5671-5679, doi:10.1002/2016GL068524., 43, 11,5671.
- Tormann, T., Wiemer, S., Enescu, B., and J. Woessner, 2016, Normalized rupture potential for small and large earthquakes along the Pacific Plate off Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 7468-7477, doi:10.1002/2016GL069309.
- Tormann, T., Enescu, B., Woessner, J., and S. Wiemer, 2016, Reply to 'Tohoku rupture reloaded?', *Nature Geoscience*, 9, 183-185, doi:10.1038/ngeo2650.
- Wang, T., Zhuang, J., Obara, K. and Tsuruoka, H., 2016, Hidden Markov modelling of sparse time series from non-volcanic tremor observations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series C*. doi: 10.1111/rssc.12194.
- Yagi, Y., Okuwaki, R., Enescu, B., Kasahara, A., Miyakawa, A., and M. Otsubo, 2016, Rupture process of the 2016 Kumamoto earthquake in relation to the thermal structure around Aso volcano, *Earth Planets Space*, 68:118, doi:10.1186/s40623-016-0492-3.
- 山形直毅, 直井誠, 中谷正生, 森谷祐一, 大槻憲四郎, Thabang Kgarume, Joachim Philipp, 村上理, Thabang Masakale, Luiz Ribeiro, 矢部康男, 川方裕則, Anthony Ward, 石田毅, Ray Durrheim, 小笠原宏, 2016, 南アフリカ Cooke 4 金鉱山地下 1km の切羽沿いに密集する微小破壊の空間分布詳細構造, 日本地震学会秋季大会, 名古屋国際会議場, 2016 年 10 月 6 日.
- 山口純弥, 直井誠, 石田毅, 中谷正生, 五十嵐俊博, 村上理, 森谷祐一, 矢部康男, 大槻憲四郎, Thabang Kgarume, Ray Durrheim, Thabang Masakale, Anthony Ward, 川方裕則, 小笠原宏, 南アフリカ金鉱山半制御地震発生実験国際共同研究グループ, 2016, 南アフリカ大深度金鉱山の地質断層上で観測された Repeating Earthquake の活動の時空間変化, 資源・素材学会 第 13 回若手研究者・学生のための研究発表会, キャンパスプラザ京都, 2016 年 12 月 9 日.
- 山口純弥, 直井誠, 中谷正生, 森谷祐一, 五十嵐俊博, Thabang Kgarume, 村上理, Thabang Masakale, 矢部康男, 大槻憲四郎, 川方裕則, 石田毅, Anthony Ward, Ray Durrheim, 小笠原宏, 南アフリカ金鉱山半制御地震発生実験国際共同研究グループ, 2016, 南アフリカ大深度金鉱山の地質断層上で観測された Repeating Earthquake の出現と消失, 地球惑星連合大会, SSS27-03, 幕張メッセ, 2016 年 5 月 25 日.
- Zakharova, O., Hainzl, S., Lange, D., and B. Enescu, 2017, Spatial variations of aftershock parameters

and their relation to geodetic slip models for the 2010 Mw8.8 Maule and the 2011 Mw9.0 Tohoku-oki earthquakes, 174(1), 77-102, doi:10.1007/s00024-016-1408-7, Pure Appl. Geophys.

Zhuang, J., D. Wang, and M. Matsu'ura, 2016, Features of the earthquake source process simulated by Vere-Jones' branching crack model. Bulletin of the Seismological Society of America. Volume 106. doi: 10.1785/0120150337.

Zhuang, J., Y. Ogata, and T. Wang, 2017, Data completeness of the Kumamoto earthquake sequence in the JMA catalog and its influence on the estimation of the ETAS parameters. Accepted by Earth, Planets and Space.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

活断層沿いの地震活動の時空間的特徴を抽出するために、地理情報システム (GIS) への地形・地質、活断層情報、地殻変動データ、震源データの統合作業を継続する。その際に、活動間隔や破壊域のゆらぎに関する文献レビューを実施し、古地震パラメータの抽出の注意点を整理する。同時に実施する震源再決定データ等も活用し、空間クラスターの特性抽出とその定量化を行う。一方で、実断層の摩擦特性と地震活動との関係を明らかにするため、南アフリカ金鉱山で実施している観測と解析を実施する。プレート境界では解明しがたい多数の繰り返し中における活動間隔や破壊域の変動 (破壊パッチの移動や出現、消失など) が観察できる可能性がある。

地震カタログの整備については、気象庁一元化処理震源と走時データを基準にして、気象庁イベントの地震波形から相対走時差データを作成し、震源の再決定作業を進める。また、気象庁一元化処理震源によるテンプレート地震波形と連続波形データとの相互相関解析を施し、新たな地震カタログを構築する。

余震活動の詳細解析を引き続き進める。特に、2016 年熊本地震の稠密余震観測網のデータ解析を実施し、できるだけ多数の震源情報を抽出する。その後、相対震源決定を行い、相対精度数百 m 以内の精緻化された余震活動の震源カタログを作成する。同時に余震補充の統計手法も検討する。さらに、熊本地震だけではなく、2000 年～2017 年に日本で発生した大地震による広域での動的トリガリングを調査し、地殻応力状態や断層強度と地震誘発との関連性を検討する。

地震活動の静穏化については、2011 年東北沖地震など日本列島周辺の巨大地震前の静穏化について統計解析を引き続き行い、今年度検出された Mw8.0 以上の地震にともなう静穏化の統計的有意性を詳しく検討する。同時に Mw のより小さな地震についても同様の解析を試みて静穏化の有無を調査する。これらの検討を通じて、地震サイクル後半での静穏化メカニズムの解明と破壊直前の標準モデルの構築を目指す。加えて、地震活動を準リアルタイムにモニタリングするシステムの構築に向けたコードの開発ならびに検証を行う。平成 29 年度は、今年度開発したコードに基づき準リアルタイム地震活動監視システムのプロトタイプを構築する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者：遠田晋次 (東北大学災害科学国際研究所)

他機関との共同研究の有無：有

参加人数 11 人 (担当者を含む) 北海道大学 (勝俣 啓) つくば大学 (Enescu Bogdan) 東京大学地震研究所 (中谷正生、加藤愛太郎、酒井慎一、五十嵐俊博、鶴岡 弘) 統計数理研究所 (Zhuang Jianchang) 常磐大学 (岩田貴樹) 京都大学防災研究所 (片尾 浩)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 遠田晋次

所属: 東北大学災害科学国際研究所

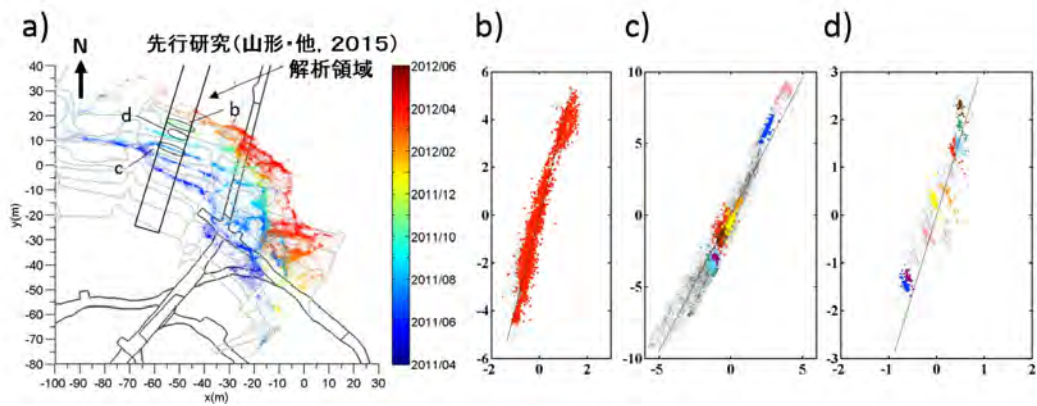


図1 . Cooke4 鉱山におけるクラスター解析(山形ほか, 2016)

a) Collapsing 法によって得られた AE の震源分布。採掘域沿い厚み 1 m の領域に震源が求まったものを、発生時期ごとに色分けして示す。採掘は南から北へ向けて進行しており、薄い灰色の線が切羽を表す。b) Planar cluster の類似波形グルーピングの例(図 a 中の b のクラスターの断面図)。c) d) Tabular cluster の類似波形グルーピングの例(図 a 中の c, d のクラスターの断面図)。ドットは AE 震源を表し、類似波形グループを構成するイベントは同じ色で示している。b) では類似波形グループを構成するイベント数が最も多いものを、c) d) ではイベント数が多いもの 9 つを示している。灰色はそれ以外の AE 震源を表す。図中の灰色の線は、各 planar, tabular cluster の巨視的方位を示す。

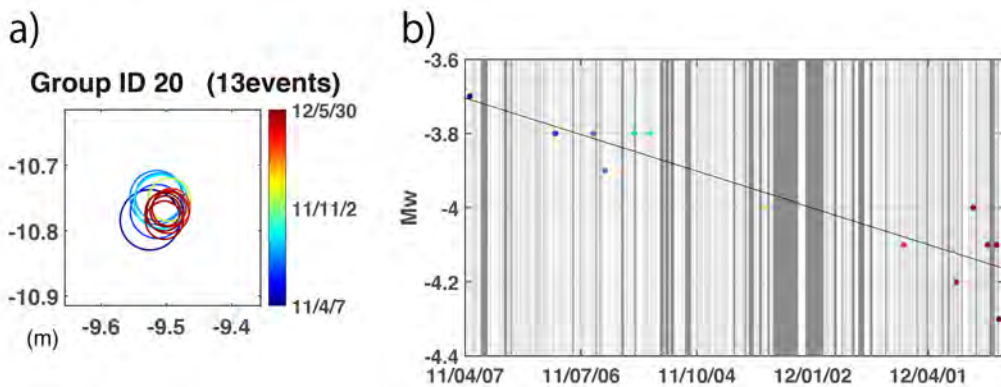


図2 . Mw が低下する繰り返し極微小地震群の例(山口ほか, 2016)

a) 震源分布図。円の半径の大きさは円形クラックモデルを仮定して Eshelby (1957) から求めた破壊サイズに対応する。b) Magnitude-Time ダイアグラム。直線は時間と Mw の関係に対する回帰直線。

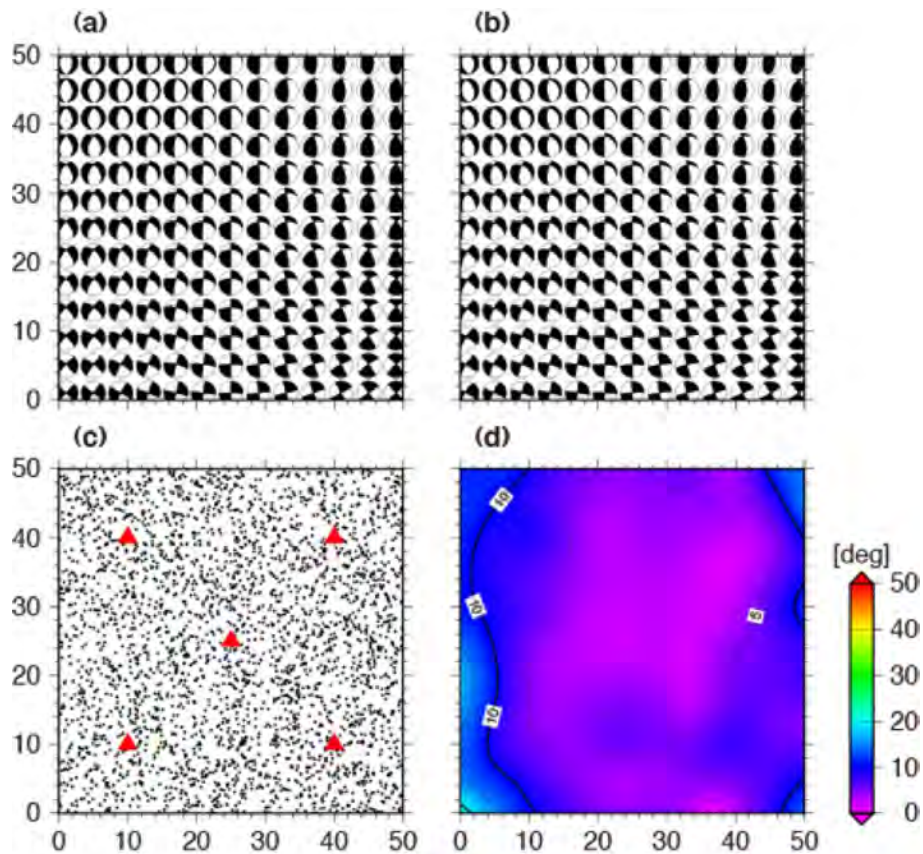


図3．尤度評価とベイズ平滑化による応力空間パターン：シミュレーションデータによる検証（Iwata, 2016；岩田投稿準備中）

a) データ生成時に仮定した応力場。実際に与えた応力テンソルから主応力軸の向きを求め、震源球で表現した。b) 今回開発した手法から推定された応力場。これも a) 同様に、推定された応力テンソルから求めた主応力軸の向きを示してある。c) シミュレーションデータを生成した際の地震 3000 個の震央分布（黒点、解析領域内に一様とした）と観測点 5 点（赤三角）の位置。d) a) と b) の主応力軸の向きの違いを角度で表したもの（Kagan 角）。ほぼ $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 以内に納まっており、元の応力場を再現できていることがわかる。

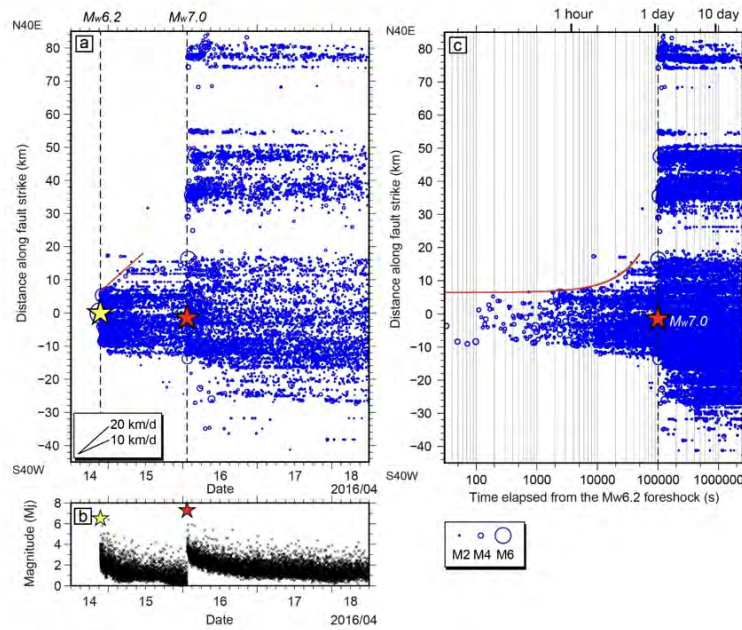


図4 . Matched filter 法によって抽出された地震による熊本地震シーケンスの時空間発展 (Kato et al., 2016)
 a) 震源断層走向沿いの地震活動の時空間発展。黄星印は前震 (Mw 6.2, Mj6.5) , 赤星印は本震 (Mw7.0, Mj7.3) を示す。b) マグニチュード - 時間プロット , c) 常用対数軸における前震からの地震活動の時空間発展。地震活動の拡大フロントを赤線で示す。

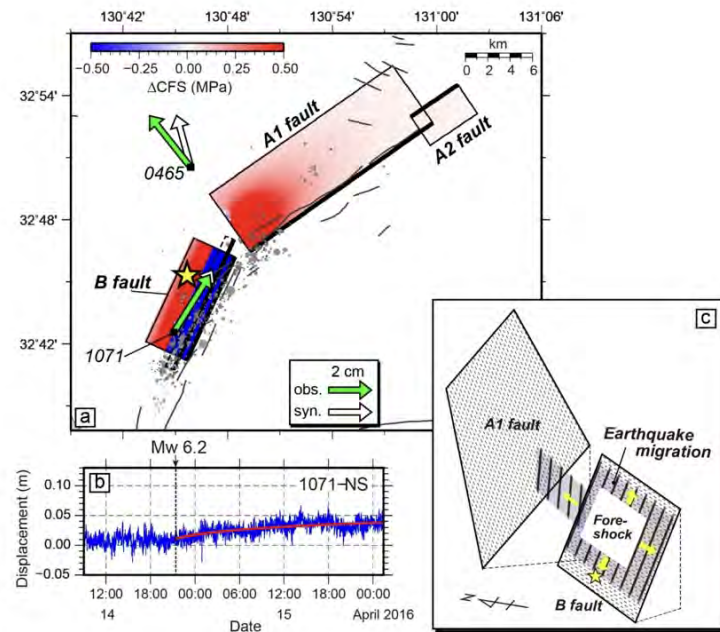


図5 . 4月14日前震と非地震性すべりによる本震震源断層への影響 (Kato et al., 2016)
 a) 熊本地震の前震 (Mw6.2, Mj6.5) と4月15日 Mw6.0地震による本震で活動した3つの断層 (A1, A2, B) へのクーロン応力変化 (CFS)。摩擦係数は0.4と仮定。本震の震央は黄星印, 前震?本震間に発生した地震は灰色ドットで, 同期間のGPS水平変動は緑矢印 (観測) と白矢印 (モデル) で示す。b) GNSS観測点1071南北成分の変位量時系列, c) 前震とその後の非地震性すべりの進展を示す透視概念図。

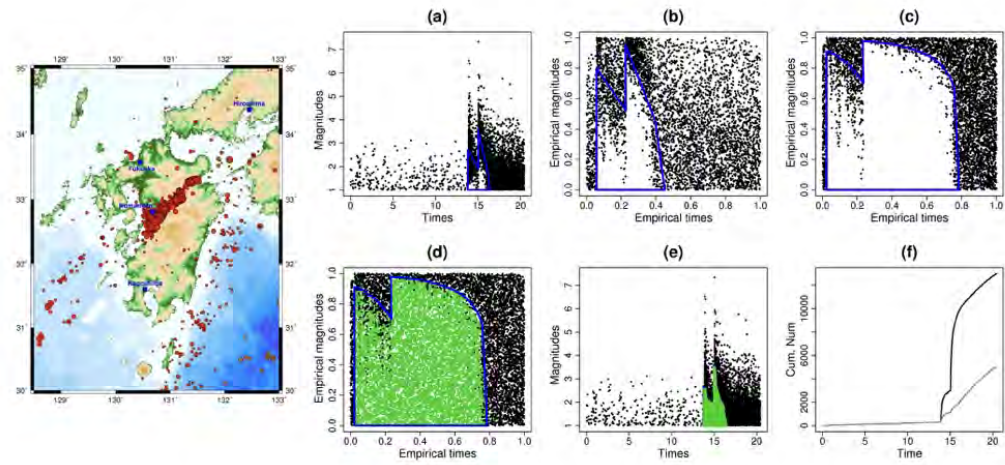


図 6 . 双スケール変換法 (bi-scale empirical transformation) による地震補充アルゴリズムを熊本地震余震域に適用した結果 (Zhuang et al., 2017)

a) 余震の M-T 図, b) 双スケール変換法を適用した M-T 図, c) 双スケール変換法を適用した M-T 図 (b とは異なった領域を検討), d-e) カタログ欠損領域を補充した結果, f) 地震累積曲線 (灰色 : オリジナルデータ, 黒 : 補充されたデータセット)。左のマップは九州とその周辺の震源分布 (2016/04/01-2016/04/21, $M \geq 1.0$, 黄丸は熊本地震前震 $M 6.5$ までの地震, 赤丸はその後の地震, $M 6$ 以上の地震の震央は黄星印)。

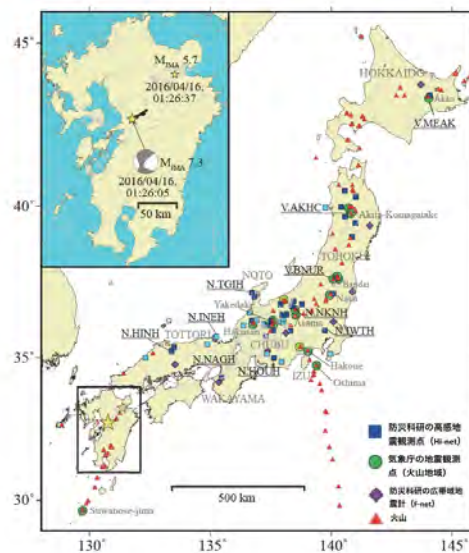


図 7 . 熊本地震後に遠地誘発地震が確認された地震観測点 (Enescu et al., 2016)

気象庁の第四紀火山での観測点は緑丸, 防災科学技術研究所の Hi-net は青四角 (水色は信頼性の低いもの), 防災科学技術研究所の F-net 観測点は紫のダイヤモンド印。赤三角は活火山, 灰色線は活断層の分布を示す。熊本地震本震の震央は黄色星印, 大分に見られる星印は本震直後に誘発された $M 5.7$ 地震の震央を示す。

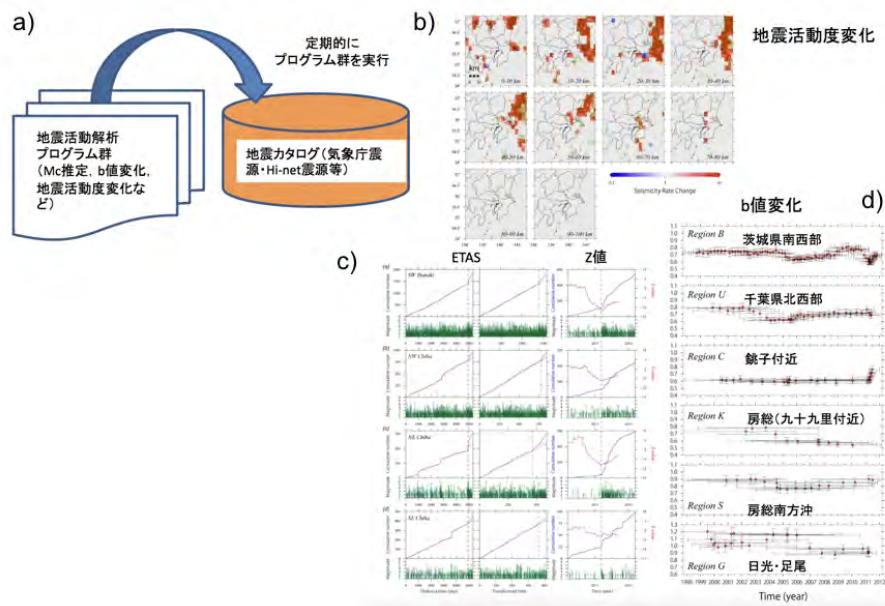


図 8 . 自動地震活動解析システムのコード開発ならびに東北地方太平洋地震前後の地震活動への予察的適用 (石辺ほか, 投稿準備中)

a) システムの概念図, b) 地震活動度変化の出力例, c) ETAS, 地震静穏化検出のための Z 値の時系列出力例, d) b 値時系列の出力例。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震に先行する大気中ラドン濃度変動に関する観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大学及び研究機関の放射線管理施設のモニタリングネットワークによって、広域な大気中ラドン濃度変動をモニタリングすることができる。そこで、本研究では放射線管理施設が有する排気モニターを用いて、全国で大気中ラドン濃度の測定を行い、巨大地震前の地殻変動を大気中ラドン濃度変動からモニタリングすることを目的とする。広域での地殻変動モニタリングを行うために、全国規模の放射線管理施設のモニタリングネットワークの構築や観測データの解析に基づいた研究を行う。収集したデータの解析により大地震に先行するラドンガス放出と地殻変動の関連を明らかにし、地震・火山噴火の発生ポテンシャルの評価に資することを本研究の目的とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

現在 19 施設の全国医薬系放射線管理施設が参画しており、これらの機関との共同研究においてデータ解析を進める。また更に地殻変動モニタリングに使用出来る放射線施設に協力を求めることで、全国

をくまなくカバーすることの出来る全国放射線管理施設ネットワークの拡大を目指す。得られたデータを用いて、大気中ラドン濃度のデータを広範囲・長期間に収集・分析し、地震・火山噴火・ゆっくりすべり・地殻ひずみなどの活動と比較する。平成26年度は、これまでに得られている放射管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進める。また新たに全国の放射線管理施設で長期間の大気中ラドン濃度計測データを持つ協力機関を探し、ネットワーク拡大を行う。平成27年度以降は、引き続きデータ解析および協力施設からの収集を進めるとともに、地殻変動との比較を行い、大地震に先行するラドンガス放出と地殻変動の関連を明らかにしていく。

(8) 平成28年度の成果の概要：

1) 全国規模での放射線管理施設のモニタリングネットワークの構築や測定データの解析

平成26年度までに25施設の全国医薬系放射線管理施設が参画しており、これらの機関との共同研究においてデータ解析を進めた。また更に地殻変動モニタリングに使用出来る放射線施設に協力を求めることで、全国をくまなくカバーすることの出来る全国放射線管理施設ネットワークの拡大を目指す。得られたデータを用いて、大気中ラドン濃度のデータを広範囲・長期間に収集・分析し、地震・火山噴火・ゆっくりすべり・地殻ひずみなどの活動と比較した。今年度は、これまでに得られている放射管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進めるほか、福島県立医科大学ほか4大学の事業所の計測データの解析を進めている。学会や論文等で、解析データの公表が可能になった際に、協力事業所名を公表する。また新たに全国の放射線管理施設で長期間の大気中ラドン濃度計測データを持つ協力機関を探し、ネットワーク拡大を行っている。

2) 連続測定におけるラドン濃度測定器の比較

汎用されているラドン濃度測定器 AlphaGUARD で、低レベルラドン濃度を測定するために必要な測定時間を決定したい。そこで AlphaGUARD の約10倍の感度がある高感度測定器(日立製作所製排気モニタ、富士電機製排気モニタ、PMT-TEL)を用いて比較検討した。ラドン濃度 15 Bq m^{-3} 、 25 Bq m^{-3} 、 50 Bq m^{-3} 、 150 Bq m^{-3} の場において連続測定を行い、米国規格協会(ANSI)の基準をもとに評価した。AlphaGUARD は、 15 Bq m^{-3} では測定困難であるが、 50 Bq m^{-3} では、数時間積算することにより、基準を満たす測定ができることがわかった。

3) 2011年和歌山北部の内陸浅部地震(Mj 5.5)前後の大気中のラドン濃度異常変化

大気中ラドン濃度の日最低ラドン濃度を13年間測定し、長期成分(経年変化や平均値)と季節変動成分(図1)との差からラドン濃度異常の残差を求めた。正常な変動期間に相当する変動からの残差標準偏差の3倍以上を推定し、それを越える観測値を異常値とみなした。

和歌山北部の内陸浅部地震(2011年7月5日のMj 5.5、深度7km)前後の震央周辺(和歌山県立医科大学)では、大気中のラドン濃度の有意な増加が観測された(図2)。

4) 札幌医科大学と福島県立医科大学における大気中ラドン濃度(部分空間法による変化検知)

これまでに報告してきたラドン濃度変動解析(Kawada et al., 2007; Omori et al., 2007; Omori et al., 2009)や平成24年度-平成26年度年次報告では、大気中ラドン濃度変動の解析は、汎用モニタ(AlphaGUARD)による大気中ラドン濃度測定値を用いた累積和による変化検知(平成24年度年次報告, Kawada et al., 2007; Omori et al., 2007, 2009)や高感度モニタ(日立製作所排気モニタ及びPME-TEL)による正常時の大気中ラドン濃度の変動からの残差を用いた異常検知(平成25年度-平成26年度年次報告; Kobayashi et al., 2015)を行ってきた。しかし、これら解析では、各時刻の観測値は、正常状態・異常状態のそれぞれにおいて、統計的に独立と想定されていた。そのため、個別の観測値の異常値を束ねて変化度にするという操作が必要で、その変化度を検出するためには、観測値の分布についてあらかじめ明示的な知識を持っていることが必要であった。これらの方法は、データ回収後に観測値の分布を解析し、異常検知や変化検知を行うものであった。そのため、モニタリング時の異常検知や変化検知での適用には不向きなものであった。そこで、異なる時刻量をまとめた部分時系列に対して、異常部位を検知する部分空間法を行った。部分空間法を用いた異常度の計算手法により、系列データの種類によらずデータの変化点を抽出することができる。

札幌医科大学・福島県立医科大学で観測された電離電流値データを用いた大気中のラドン濃度残差（図3(a)札幌, (c)福島）と異常度（図3(b)札幌, (d)福島）の解析結果を示す．ここで異常度は，前述の部分空間法を用いて，電離電流測定値から計算したものである．図3(e)に札幌医科大学と福島県立医科大学を含む領域（それぞれ図4の領域1, 領域2に対応）における積算地震回数を示す．

電離電流測定値より計算された異常度は，大気中ラドン濃度の残差値が3 を超える異常を明示している（たとえば，図3(a), (b)：2003年十勝沖と2011年東北地方太平洋沖，2011年浦河沖；図3(c), (d)：2008年茨城県沖，2008年福島県沖，2010年福島県沖，2011年東北地方太平洋沖）．このことから，明示的に物理モデルを仮定せずに，観測データから地震に関連した大気中ラドン変動の異常を部分空間法により異常を検出することができた．また大気中ラドン濃度残差が3 を超える異常変動を示していない時期にも，部分空間法により電離電流値から見積もられた異常度に高い異常を示す時期が認められた．この異常度と積算地震回数を比較すると，M6.0以上の地震が発生する地震活動の活発な時期に異常が検出されている（図3(d)領域1：e1-e3, e8, e9；領域2：e4-e7，震央は図4参照）．このことから，大気中ラドン濃度に関して従来の解析法で高い異常を示さない事象についても，部分空間法により検知が可能となった．

5) アイソトープ実験施設の排気モニタによる東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）に先行する大気中ラドン濃度変動の検討

福島県（福島県立医科大学），宮城県（東北医科薬科大学），栃木県（獨協医科大学）の3県で観測された大気中ラドン濃度に関する東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）前の異常変動を解析した．大気中ラドン濃度の推定には，アイソトープ実験施設の排気モニタの1時間毎の測定データを用いた．ラドン濃度異常の残差を長期成分（経年変化や平均値）と季節変動成分との差から求めた．季節変動成分を，5年以上平年変動が得られた北海道，福島県，和歌山県の排気モニタのデータと，日本分析センターの公表値（各都道府県の大気中ラドン濃度のデータ）より推定した．3県の季節変動成分 $F(t)$ Bq m⁻³は， $F(t) = A \sin\{ (t + 75) \}$, (A Bq m⁻³：振幅， t 日：2003年1月1日からの経過日数，位相：75日， $= 2 / 365$)で回帰される（ただし，振幅 A Bq m⁻³については各県ごとに見積もった）．3県で得られたデータより，長期成分と上式より求めた季節変動成分との差をとり，ラドン濃度残差を求めた（図5）．3県すべてのラドン濃度残差が地震前（2010年12月から2011年1月）に減少していた．

6) 2011年東北地方太平洋沖地震前の積算大気中ラドン濃度の対数周期振動増加

福島県立医科大学（図4，FMU）で観測された大気中ラドン濃度の残差（図3(c)）を積算したものを図6に示す．2008年以降から大気中ラドン濃度の積算値がべき乗則に従い増加し，2011年の東北地方太平洋沖地震まで継続していた．また，この振動増加は対数周期振動を含む臨界現象モデル（例えば，Sornette and Sammis, 1995; Igarashi, 2000）でモデル化され，2009年の後半からの積算ラドン濃度の変動を対数周期振動曲線で回帰することができる（図6中の赤線）．対数周期振動を含む臨界のモデルは，地震発生によるエネルギー散逸を表す積算ベニオフ歪に対しても認められている（例えば，Newman et al., 1995）．2011年の東北地方太平洋沖地震でも積算ベニオフ歪に関するべき乗則の増加エネルギー散逸が報告されており（Xue et al., 2012），大気中ラドン濃度の変動にも同様のエネルギー散逸則が認められた．

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
安岡由美，2016，ラドン濃度変動と地震 - 地震先行現象の痕跡を排気モニターに求めて - [招待特別講演：講演内容近年発生した阪神淡路大震災（兵庫県南部地震）や東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）に先行して，大気中のラドン濃度変動を排気モニターがとらえていた事例の紹介]，2016年4月16日．
岩田大地，長濱裕幸，武藤 潤，安岡由美，2016，特異スペクトル変換法を利用した大気中ラドン濃度異常変動解析，日本地球惑星科学連合連合大会2016年大会，2016年5月22日．
石原万己，南のどか，新井友里愛，安岡由美，長濱裕幸，武藤 潤，飯本武志，大森康孝，床次眞司，向高 弘，2016，連続測定におけるラドン濃度測定器の比較，日本保健物理学会第49回研究発表会

発表, 2016年6月30日.

Goto, M., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Omori, Y., Ihara, H., Mukai, T., 2017 in press, Anomalous changes in atmospheric radon concentration before and the after 2011 northern Wakayama Earthquake (Mj 5.5). Radiation Protection Dosimetry. DOI:10.1093/rpd/new142

岩田大地, 長濱裕幸, 武藤潤, 安岡由美, 2016, 特異スペクトル変換法を利用した大気中ラドン濃度異常の検出, データ駆動科学イノベーション共創ワークショップ, 東京大学地震研究所, 2016年9月.

岩田大地, 長濱裕幸, 武藤潤, 安岡由美, 2016, 特異スペクトル変換法を利用した大気中ラドン濃度異常検知と地震活動, 日本地質学会第123年学術大会, 東京都世田谷区桜上水, 日本大学文理学部キャンパス, 2016年9月.

Iwata, D., Nagahama, H., Muto, J., Yasuoka, Y., 2016, Anomalous atmospheric radon concentration related to earthquakes :Anomaly detection by singular spectrum transformation ", 5th International Geo-Hazard Research Symposium, Taipei, Taiwan, October, 2016; Prof. Tsanyao Frank Yang Young Scientist Award (Poster presentation), 5th International Geo-Hazard Research Symposium, Taipei, Taiwan, October, 2016.

安岡由美, 長濱裕幸, 武藤潤, 大森康孝, 鈴木俊幸, 本間好, 山本文彦, 高橋克彦, 向高弘, 2017, アイソトープ実験施設の排気モニタによる東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に先行する大気中ラドン濃度変動の検討, 日本薬学会, 2017年3月26日.

(10) 平成29年度実施計画の概要:

平成29年度は, これまでに得られている放射管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進めた. また新たに全国の放射線管理施設で長期間の大気中ラドン濃度計測データを持つ協力機関を探し, ネットワーク拡大を行う. 平成29年度以降は, 引き続きデータ解析および協力施設からの収集を進めるとともに, 地殻変動との比較を行い, 大地震に先行するラドンガス放出と地殻変動の関連を明らかにしていく.

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

長濱裕幸・武藤潤

他機関との共同研究の有無: 有

神戸薬科大学 安岡由美

福島県立医科大学: 本間好・鈴木俊幸

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東北大学大学院理学研究科

電話: 022-225-1950

e-mail: zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL: <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 長濱裕幸

所属: 東北大学大学院理学研究科地学専攻

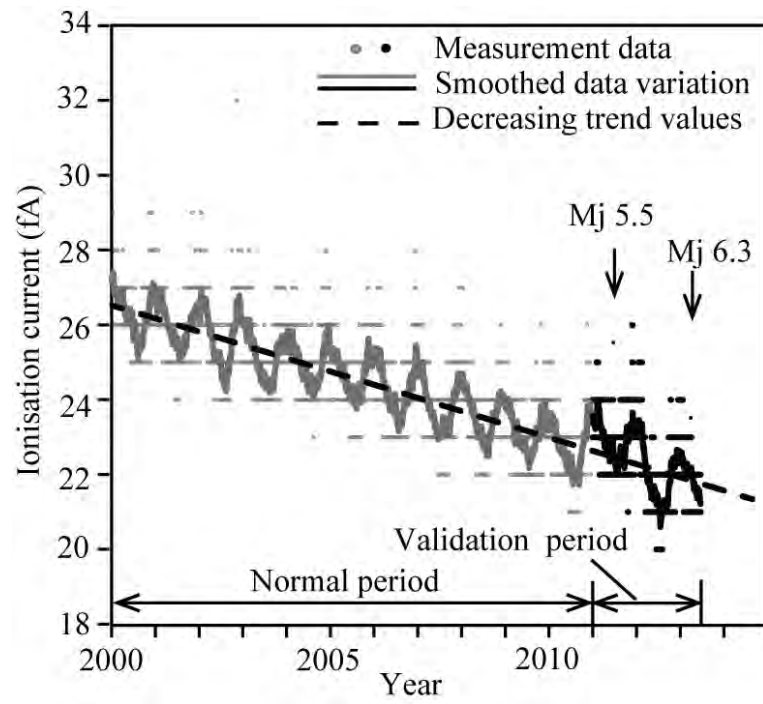


図1 長期成分（経年変化や平均値）と季節変動成分

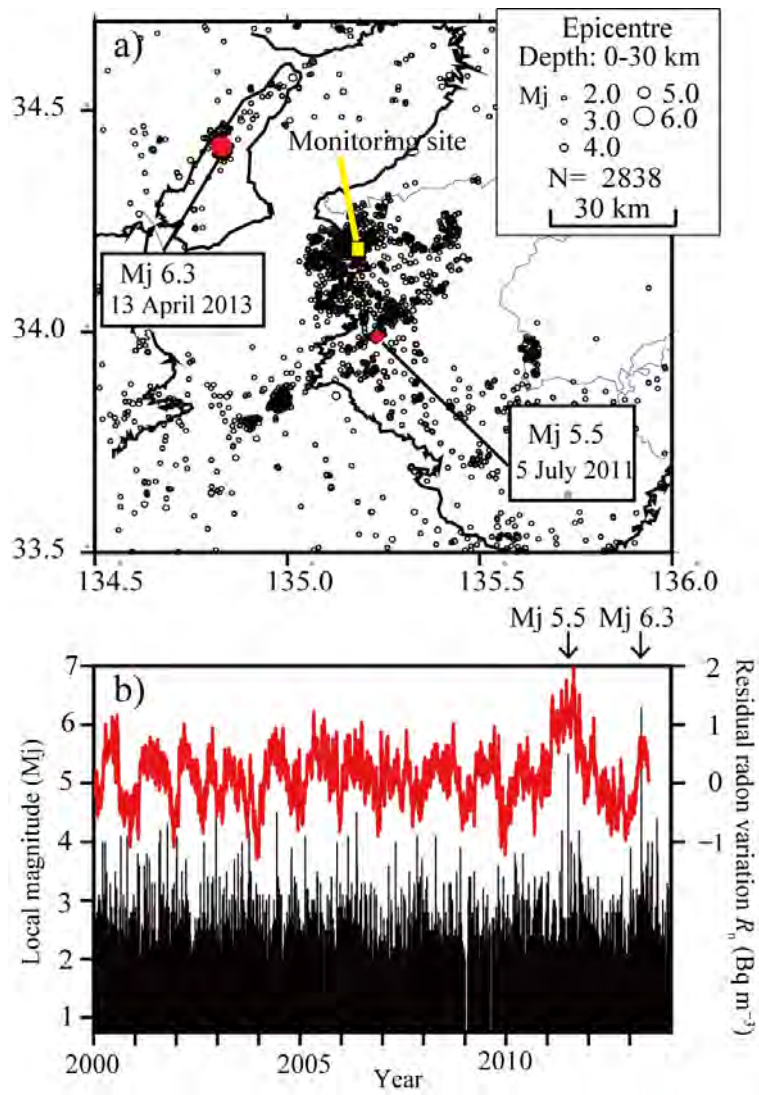


図2 和歌山北部内陸浅部地震 (Mj 5.5) 周辺の地震分布と大気中ラドン濃度変動

(a) 2011 年和歌山北部内陸浅部地震 (Mj 5.5) 震央周辺の地震分布, (b) 2000 年 1 月から 2013 年 12 月までの地震活動と大気中ラドン濃度変動．地震活動データは，気象庁データによる．

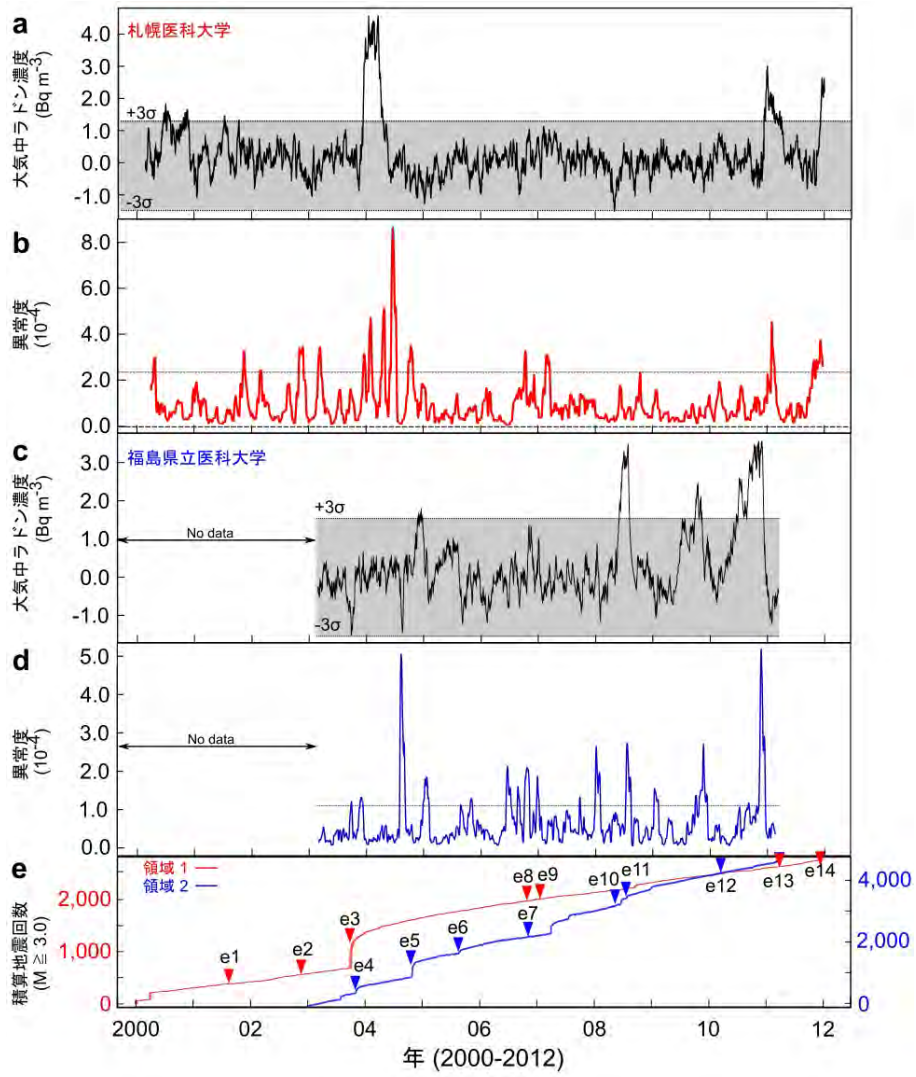


図3 札幌医科大学・福島県立医科大学における大気中ラドン濃度を用いた部分空間法による変化検知
 (a) ラドン濃度の残差(札幌), (b) 異常度(札幌), (c) ラドン濃度の残差(福島), (d) 異常度(福島), (e) 積算地震回数(e1-e14 は, 図4中の地震に対応する). 地震活動データは, 気象庁データによる.

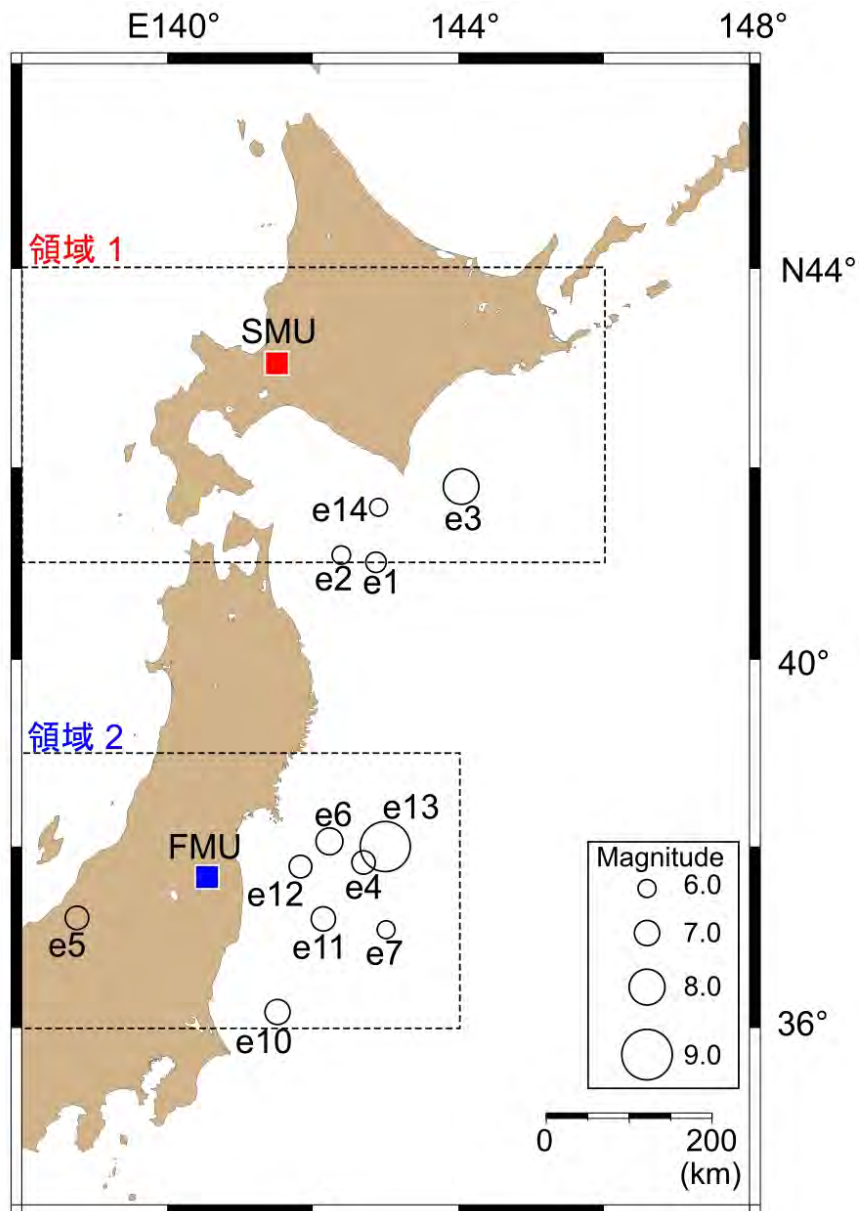


図4 札幌医科大学 (SMU)・福島県立医科大学 (FMU) の位置とその周辺の地震活動
 e1-e14 は, 図 3(d) 中の表記と一致し, 領域 1・2 は, 図 3(d) の積算地震回数を示した領域に対応する.

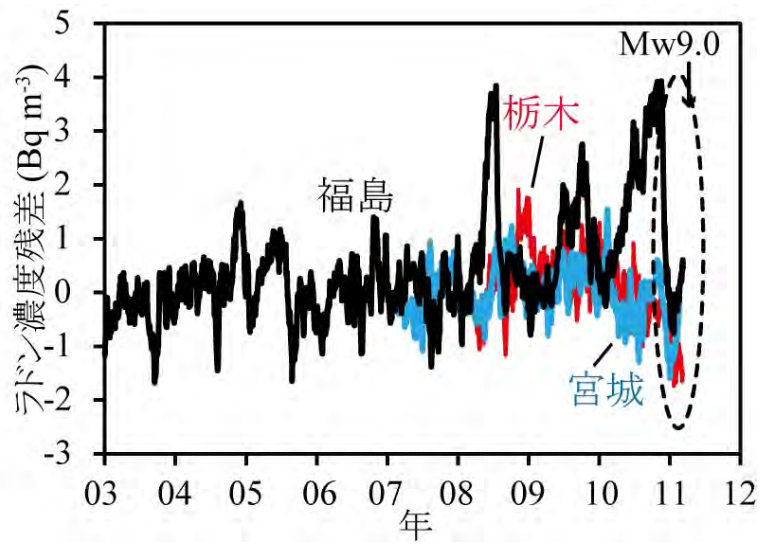


図5 東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) 前の大気中ラドン濃度変動
 福島：福島県立医科大学, 栃木：獨協医科大学, 宮城：東北医科薬科大学

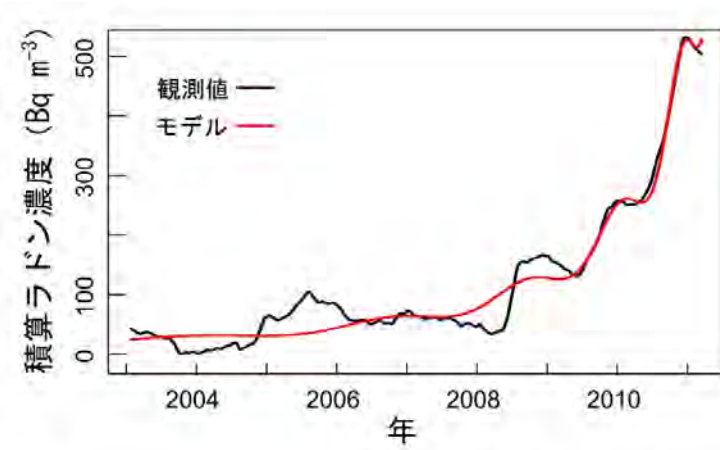


図6 福島県立医科大学 (図4, FMU) で観測された大気中ラドン濃度の残差 (図3(c)) の積算値
 赤線は, 対数周期振動を含む臨界現象のモデルによる大気中ラドン濃度の残差 (図3(c)) 積算値の回帰曲線を表す.

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

観測事例及び理論予測に基づく噴火事象系統樹の分岐条件の検討

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

逐次変化する火山活動に対応した予測は、火山噴火予知連絡会などによる専門家会合を開き、地球物理学的観測や物質科学的分析による結果を総合的・多面的に理解することによってなされてきた。今後、より迅速な対応をとれるように、このような専門家による判断をより客観化・一般化することにより、科学的知見として将来に蓄積する必要がある。本研究では、リアルタイムで得られる各種の観測データと火山活動や噴火現象の分岐との関係を具体的に記述し、噴火事象系統樹をより高度なものに発展させることを目的に、現在の火山学的知見および本研究計画により明らかとなる法則をまとめ、噴火事象の分岐判断の基準の作成を進める。具体的には、以下の目標を掲げる。

1. 現在の火山学的知見をもとに、火山噴火現象を類型化し、災害や火山・噴火活動にとって重要な事象の分岐点を網羅的に調べる。

2. 事象の分岐点について、過去の観測データによる経験、理論・実験的な予測等にもとづき、事象分岐の判断方法をまとめる。

3. まとめられた分岐判断の方法をもとに、類型化された火山や火山噴火現象ごとに適切な観測項目・体制を明らかにする。

このような判断基準の作成はこれまで試みられていない。5年間でプロトタイプを作成することを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

上記目標にある3項目をほぼ番号順に進める。活発な火山活動を示す火山(桜島等)や防災上重要な火山(富士山等)については、それぞれの火山における噴火シナリオの分岐判断条件を検討する。

平成26年度においては、主に項目1について実施するとともに、項目2に着手する。マグマの特性やテクトニクス的な背景、これまで提案されている噴火事象系統樹を参考にしながら、火山活動および噴火活動の事象分岐点を網羅的に調べる。さらに、災害軽減の観点から、とくに重要な事象分岐点を抽出する。重要な事象分岐点について、地震学、測地学、電磁気学、火山ガス・噴出物分析学などの、現在までの火山学的知見をもとに、先行現象と噴火現象に関する経験則や理論的な予見の調査を開始する。

平成27年度においては、項目2を継続し、事象分岐の判断基準の表を試作する。経験則には、観測事例数、適用範囲、再現性などを、理論的な予測法については、観測による検証、条件などをもとにして、いくつかのランクを設定し、分岐条件の判断基準の確からしさを加えることを検討する。

平成28年度においては、外部資金等を利用し、国内外の火山研究者とセミナーを開催し、国内外の火山の事例の比較研究を行う。これをもとに平成27年度に作成した事象分岐の判断基準の問題点を明らかにし、分岐条件の判断基準の再作成を行う。

平成29年度には、まとめられた事象分岐の判断基準をもとに、現在の火山観測体制での利用可能性を検討する。また、必要な観測体制や研究の方向性をまとめる。

平成30年度には、5年間を総括し、本課題から提案する事象分岐の判断基準と今後の課題を総括し、文書にまとめる。

研究課題実施中には、他の研究課題とつねに連携を取り、それらの研究成果を取り入れるだけでなく、特に重要な研究内容を提言する。また、事象分岐の判断基準のもととなる論文、観測報告等を電子媒体等によりまとめ、常に検証・再構築できるようにする。

(8) 平成28年度の成果の概要 :

大地震の発生と火山噴火の発生の関連性を全世界のデータをもとに調べた。データが漏れなく記録されていると考えられるマグニチュード7.8の地震の発生後、距離200km以内にある火山の噴火数が20%ほど増加すること、一方、それ以遠の火山の活動は大地震の発生に影響を受けていないことが明らかとなった。

桜島火山歴史時代のプリニー式噴火(文明・安永・大正)噴出物に含まれる斑晶メルト包有物の揮発性成分含有量から、最終定置深度を求めたところ、大部分が約0.5~3kmとなることがわかった。軽石噴火の噴出量は、火道の直径と深さ方向の分布範囲とから計算される体積で、ほぼ賄える。プリニー式噴火の噴火直前には、浅部の火道にマグマが貫入した状態であったと推定される。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Okumura, S., Uesugi, K., Nakamura, M. (2015) Rheological transitions in high-temperature volcanic fault zones, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1002/2014JB011532.

中村美千彦 (2015) マグマ上昇過程の物質科学的研究, *Japan Geoscience Letters*, 11, 3-5, 2015.

Otsuki, S., Nakamura, M., Okumura, S., Sasaki, O. (2015) Interfacial tension-driven relaxation of magma foam: An experimental study, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1002/2015JB012391.

(10) 平成29年度実施計画の概要 :

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学 西村太志、中村美千彦

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学 中川光弘、橋本武志

東京大学	中田節也、森田裕一
東京工業大学	野上健治
京都大学	鍵山恒臣、井口正人
九州大学	清水 洋
気象庁	松森敏幸
気象研究所	高木朗充
産業総合研究所	篠原 宏志
防災科学技術研究所	藤田英輔

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
電話：022-796-6531
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
氏名：西村太志
所属：東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

トランジェント現象リアルタイムモニタリングのための複合測地データ利用の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究課題では、(1) 海陸の複数測地データを用いてプレート境界及びその周辺で発生する巨大地震の規模及びその広がりを即時(イベント発生後 3 分以内)に把握し、それに基づく津波の高精度予測のための技術開発、(2) 数日以下の時定数を持つゆっくりとしたプレート境界上の滑り現象を GNSS データから自動検知するための解析技術の高度化及び地殻変動自動検知のためのアルゴリズム開発、(3) 火山活動の活発化に伴う地殻変動を検出し変動源の推定をリアルタイムで自動的に行う解析システムの開発、の 3 点を実施する。これらは準実時間でプレート境界や火山周辺における様々な時間帯域の現象を迅速に把握する上での基盤技術であり、巨大地震発生後の津波即時予測や、プレート境界での滑りシミュレーションに取り入れるためのデータ逐次同化システムへの応用、火山活動の推移予測等を行う上で極めて重要である。これらの技術開発により、プレート境界で発生する津波や火山噴火による被害等の軽減及びプレート境界型地震の短期予測に資するデータの提供を目指し、防災・減災ならびに地震・火山噴火予測に貢献する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本計画は、(1) 複数の測地データ (GPS、地殻変動連続観測、海底水圧計等) を使用して、プレート境界及びその周辺で発生する巨大地震の地震規模を即時に推定し、高精度津波予測に活用するための技術開発、(2) GPS、GLONASS、Galileo 等を含めた複数 GNSS 衛星を用いて、数日以下の時間帯域におけるゆっくりとした地殻変動を準実時間で捉えるための解析手法の高度化、(3) 火山活動の変化に伴って観測される山体変形を準実時間で確実に把握しその変動源の時空間変化を推定できる解析技術の高度化、の3つの技術開発項目で構成される。

(1) に関しては、これまでに開発を進めてきたリアルタイム GPS データに基づいて巨大地震に伴う地殻変動を自動検知・推定するアルゴリズム (RAPiD) を GPS 以外の GNSS 衛星及び地殻変動連続観測データでも利用できるように拡張し、得られる観測量から断層面での不均質滑りを即時推定するアルゴリズムを開発して、それらに基づく高精度な津波予測システムの開発を進める。年次進行としては、平成 26、27、28 年度にかけて GNSS データと地殻変動連続観測データのノイズ特性に配慮した地殻変動検知アルゴリズムを開発し、平成 29、30 年においてリアルタイム観測データを用いたアルゴリズムの精度検証を行う。

(2) に関しては、GPS、GLONASS、Galileo 等を含めた複数 GNSS 衛星を用いて、数日以下の時間帯域におけるゆっくりとした地殻変動を準実時間で捉えるための解析手法の高度化を行う。数日以下の時間帯域では対流圏遅延の補正、マルチパスによる擾乱等の軽減等がノイズレベル軽減に重要である。それらに対流圏の数値予報モデル、Sidereal filter 等を用いて準実時間で軽減しつつ、高品位の座標時系列を得るための技術開発を5カ年通じて進める。また平成 28 年度以降、それら時系列から地殻変動を自動検出するアルゴリズムをこれまでに開発した RAPiD アルゴリズムを拡張する形で開発する。

(3) については、山体変形の検出技術は(2)と共通部分も多いが、山体変形の原因となる増減圧源については先験的情報も乏しいため、格子点状にモーメントソースを配置し、GNSS 観測データ等から地殻変動源モデルの時空間変化を精度良く推定する手法を開発する。なお、火山体変形を抽出する際には、現在もなお継続している東北地方太平洋沖地震に伴う余効地殻変動の影響を取り除く必要があるため、海陸測地観測による余効変動に関する研究課題と連携して計画を実行する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度は主として3つの研究項目を実施した。1 点目が平成 27 年度に実施したキネマティック精密単独測位法における最適対流圏遅延パラメータ決定の網羅的探索であり、2 点目が精密可動台を用いた移動体におけるリアルタイム・キネマティック GNSS 解析の精度評価である。また、3 点目がゆっくりとした地殻変動場を捉えることを目的とした GNSS 搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法の精度評価である。

(1) キネマティック精密単独測位法 (キネマティック PPP) における最適対流圏遅延パラメータの時間的安定性の評価

平成 27 年度に実施した、キネマティック PPP 解析における対流圏遅延に関する未知パラメータの推定時に使用するハイパーパラメータ (解析時に必要とするカルマンフィルタのプロセスノイズ) の最適値探索の時間的な安定性を評価した。具体的には平成 27 年度に実施した座標時系列の擾乱がもっとも小さくなる (標準偏差がもっとも小さくなる) 天頂湿潤大気遅延量とその勾配量のグリッドサーチによる探索を、特定の観測点において1年間通じて行うことで、推定される最適対流圏遅延パラメータの時間変化を確認した。その結果、天頂湿潤大気遅延量とその勾配量ともに冬季は値が小さく、夏季は大きいという年周変化が確認された (図 1)。特に、勾配量において年周変化の振幅が大きく、最適値の振幅が冬季と夏季で1桁異なる結果が得られた。さらにそれらの特徴は観測点毎に異なることも明らかになった。これらは、キネマティック PPP 解析の高精度化において、各観測点、日付毎に最適対流圏遅延パラメータを推定することで座標値推定精度が向上しうることを示す重要な成果である。

(2) 3 軸精密可動台を用いた移動体におけるキネマティック GNSS 解析の精度評価

平成 27 年度に開発した3軸精密可動台を用いたキネマティック GNSS 時系列の精度評価を行った。特に平成 28 年度は移動体特有の動きを可動台に与え、その動きを GNSS でどの程度再現できるかにつ

いて検証を行った。今回使用した3軸可動台は水平1軸の移動に加えて、回転、傾斜を同時に駆動できる。可動台には海上のブイの動揺を模した動きを与えた。GNSSは10Hzサンプリングでデータを取得した。GNSSアンテナにはアンテナ位相特性がほぼゼロオフセットのTrimble社製のZepher Geodeticアンテナを用いた。解析にはきわめて短い基線長(~10m)での基線解析を採用した。GNSSデータで得られた解析時系列を確認すると、可動台で与えた動きをキネマティックGNSSはおおよそ再現できているものの、可動台に回転成分を与えた場合に、その一致度が低下することが明らかになった。そのため、可動台に周期20秒で±50度の回転成分のみを与えて、同様にキネマティックGNSS解析を行いその挙動を見た。その結果、本来であればほぼ変位が確認されないはずの条件下における実験にもかかわらず、周期が20秒程度で振幅が10mm程度の明瞭な変位がキネマティックGNSS時系列に確認された。可動台が持つ可動精度は十分高いことや、回転にのみ現れる変位であることから、当該の動きは実際のアンテナ位置の変位ではなく、GNSSアンテナの回転によるPhase wind up効果である可能性が高いと結論付けた。同効果は、特に海上等での移動体における高精度な測位におけるノイズ源となりうる。一方で、回転角度を別データから知ることができれば、これらの補正は可能であると考えられる。次年度以降、可動台に与えた回転角度データからPhase wind up効果の補正を試み、移動体におけるGNSS測位解精度の向上を目指す。

(3)GNSS搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法の地震時変位に対する適用

本課題では、数日から1日以下程度の時定数を持つ地殻変動場を精密に捉えるためのGNSS解析の高精度化に係る研究開発を主として進めている。特にキネマティックGNSS解析では、対流圏遅延に起因する未知パラメータと座標値との分離が原理的に困難であり、その精度向上を困難にしている。さらに、そのようにして推定されたキネマティックGNSS時系列には、対流圏遅延に起因する誤差がその量の多寡は別として重畳し、最終的に求めたい地震・火山現象(例えば断層すべりの時間発展)の推定の妨げとなる。このような観点から、Cervelli et al. (2002)では通常のキネマティックGNSS解析を行って座標値を推定し、それを用いて断層すべりを推定する方法ではなく、GNSSの搬送波位相データから直接断層すべりを推定する手法を示している。同手法では対流圏遅延等の誤差を座標値に押し付けることなく、断層すべりを直接推定する。そのため、それら誤差を含めて一連の解析の中で推定することが可能である。本年度は、同手法の適用可能性を評価するために、まず地震時変位をどの程度正確に推定できるかの検証を実施した。

対象とした地震は2016年熊本地震である。問題を単純化するために地震時断層面は先行研究(Kawamoto et al., 2016)で示されている1枚の矩形断層を仮定し、断層面上での地震時横ずれ成分のみを推定した。データには震源域周辺8点のGEONETデータを用いた。その結果、地震発生時刻を境として、約3.6mの地震時すべりが推定され、同手法によって一定程度地震時すべりを推定できることが明らかになった。その一方で、断層すべりの中長期的なふるまいを見ると、対流圏に起因すると考えられる長周期の誤差成分が卓越することも明らかになった。次年度以降は、こうした長周期の誤差成分がどのようなふるまいを示すかの検討をより詳細に進める。

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

Hirata Y. and Y. Ohta, 2016, Spatial and temporal characteristics of optimum process noise values of tropospheric parameters for kinematic analysis of Global Navigation Satellite System (GNSS) sites in Japan, Earth, Planets Space, 68:203, doi: 10.1186/s40623-016-0578-y.

Inazu, D., T. Waseda, T. Hibiya and Y. Ohta, 2016, Assessment of GNSS-based height data of multiple ships for measuring and forecasting great tsunamis, Geosci. Lett., 3(25), doi:10.1186/s40562-016-0059-y.

井上拓也, 太田雄策, 越村俊一, 日野亮太, 川元智司, 檜山洋平, 道家友紀, 2016, GNSSによるリアルタイム断層推定情報の津波解析への適用手法の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 72(2), doi: 10.2208/kaigan.72.I.355, 355-360.

Kawamoto S., Y. Hiyama, Y. Ohta and T. Nishimura, 2016, First Result from the GEONET Real-time Analysis System (REGARD): the Case of the 2016 Kumamoto Earthquakes, Earth, Planets Space, 68 (190),

doi:10.1186/s40623-016-0564-4.

太田雄策, 2016, リアルタイム・キネマティック GNSS データ解析の高度化およびそれにもとづく巨大地震の震源断層即時推定手法に関する研究, 測地学会誌, 62(1), 1-19.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要:

平成 28 年度に引き続き, 数日から 1 日以下程度の時定数を持つ地殻変動場を精密に捉えるための GNSS 解析の高精度化に係る研究開発を主として進める。特に平成 28 年に検討を開始した GNSS 搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法の数日から 1 日以下程度の時定数を持つ地殻変動現象への適用可能性についての検討を主として進める。また 3 軸精密可動台を用いた可動試験をより多様かつ長時間のデータに対して適用し, 精度評価を進める。また, こうした結果にもとづいて地殻変動を自動検知・推定するアルゴリズム (RAPiD) の高精度化を進める。さらに火山活動の変化に伴って観測される山体変形を準実時間で確実に把握し, その変動源の時空間変化を推定する技術開発を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

太田雄策、三浦 哲、日野亮太

他機関との共同研究の有無: 有

北海道大学: 高橋浩晃

気象研究所: 対馬弘晃

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東北大学大学院理学研究科

電話: 022-225-1950

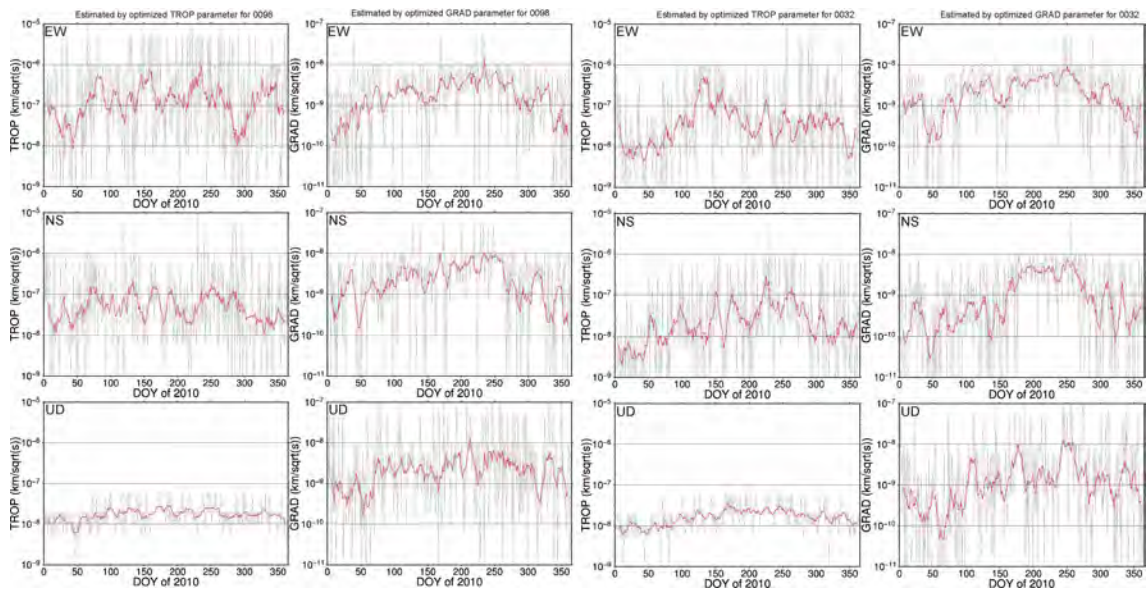
e-mail: zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL: <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 太田 雄策

所属: 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター



☒

推定された各座標成分 (東西、南北、上下) 最適対流圏遅延パラメータの時間変化。左側のパネル 6 枚が GEONET 0098 観測点、右側のパネル 6 枚が GEONET0032 観測点の結果をそれぞれ示す。TROP が湿潤天頂大気遅延量推定用プロセスノイズ, GRAD がその勾配量推定用のプロセスノイズをそれぞれ示す。灰色線が日々推定された最適値、赤色線が 11 日の移動平均を取ったものを示す。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海溝軸近傍で観測可能な海底地殻変動観測技術の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大きな津波を伴う海溝型の低頻度超巨大地震の発生過程において、海溝軸近傍の固着状態が非常に重要な役割を果たしていることが明らかにされつつある。東北地方太平洋沖地震後に整備された大学と海上保安庁の海底 GPS による地殻変動観測点網は、この事実を重視し、従来の観測点よりも海溝に近い大深度海域に重点的に展開されている。しかし、特に日本海溝における海溝軸直上付近での観測は、水深の倍程度の長い距離の測距の技術的困難さや、観測点を構成する海底局間の距離が、もはや剛体とは見なせない大きさになる原理的な限界から、未着手のまま残されている。これに対し海底間音響測距観測は、海底間同士の音響測距であるため距離的にも音響ノイズ的にも有利であり、また、海底の歪そのものを計るため、剛体的振る舞いが保障されない場所での観測に適することから、実現の可能性が高いと判断できる。一方、海底圧力観測では、海溝軸直近での観測を開始したものの、超深海対応の圧力センサーの大きなドリフトの低減、あるいは解析による除去などの課題が残る。本研究課題では、超深海用に開発された海底間音響測距装置と海底圧力計での実海域での観測を繰り返して、機器と解析方法の改良に関する知見を蓄積し、実用技術として確立することにより、低頻度超巨大地震の発生メカニズムの解明や想定される津波の規模の推定に役立つ、海溝軸近傍の固着状態のモニタリング観測実現に資することを目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

上記の超深海型の圧力計および海底間音響測距装置には、試験観測の結果をフィードバックさせながら機器と解析方法の改良を重ねていく必要がある。これらをおよそ1年サイクルで繰り返していくことにより、超深海での海底地殻変動観測技術を確認する。別予算で措置した超深海型の海底圧力計、海底間音響測距装置をプロトタイプとして使用し、各年度の機器の改良も別予算で実施する。その試験観測時に必要な消耗品としての電池の一部を本研究課題の予算でまかない、全体として年1回の観測機会を確保し、技術確立までの過程を強化する。平成26 - 27年度は、観測機器の基本性能の確認および改良部分の洗い出しを行う。具体的には、超深海型の圧力計センサーのドリフトの性質の把握を行い、海底間音響測距装置に関しては測距限界距離および温度計測による長距離の音速補正の知見を得る。平成28 - 29年度は、過年度で得た知見をもとに必要な装置の同志の設置配置を変え、圧力計では海洋の影響を取り除いた相対上下変位検出の精度評価、海底間音響測距では精度を確保できる距離で、かつ海溝をまたぐ位置へ、潜航艇の利用も想定しつつ設置し、データを得る。平成30年度には、それまでのデータをもとに最終的な改良、設置方法を提案し、実測により技術の確立を実証する。

(8) 平成28年度の成果の概要 :

東北地方太平洋沖地震の最大すべり域付近の日本海溝において、2013年、および2014年から2015年にかけて、海溝軸を跨ぐ形での2回の海底間音響測距観測を行い、さらに2015年からは、(1)ユニバーサルジョイントを廃止し姿勢の安定性を重視した脚形状、(2)音響コマンドで観測頻度の設定変更や計測データの随時吸い上げが可能、(3)高精度な外付け圧力・温度センサー(RBR)搭載の、5台の新設計の機器を同海域に設置した(図1b)。本年度2016年9月にこのうち2台(ADM1A, ADM3A)を回収し、ほぼ1年間の連続データを得た。データは往復走時の他、音速補正に使用する温度・圧力データ、装置の海底に対するずれを検出するための姿勢データからなる。また、不具合が出て未回収となっている機器からも、音響モデムによって一部のデータを吸い上げた。回収した2台を起点とする4本の見かけ基線長を図2aにプロットした。圧力の影響がエイリアシングを起こしているのが見える。ばらつき大きさは基線長にほぼ反比例しており、音速の不確かさの大きさが全基線でほぼ共通であることを示している。温度・圧力補正後(図2b)の見かけ基線長は、主に設置状態の過渡現象による姿勢変化を描いており、初期のギャップに対応する時期に付近で地震が発生したこともわかっている。回収せず一部のデータを吸い上げた測器については姿勢を慎重に解析する必要があるため、まだ姿勢補正を行っていないが、回収した側の姿勢を見る限り、姿勢補正により基線長変化はなくなるセンスであることが予想される。これは、2013年から実施してきた同海域での先行観測と整合する結果である。最も長いADM1A-3Bの基線(7240m)でも、最終的にばらつきで $\pm 1\text{-}2\text{ cm}$ 、1年間の変位速度で $\pm 2\text{ cm/yr}$ の精度で計測できる見込みがたった。回収した機器で収録した補正データを図3にプロットする。温度擾乱は極めて小さく、基線に大きく影響するのは圧力と姿勢であることがわかる。また次の計測ターゲットとして、GPS/Aで余効すべりによる東向きの変位が観測され、相当量の収束速度が海溝付近に集中していると考えられる福島沖(図1a)を計画しており、2017年3月の航海で、新たに5基設置する予定である。一方、開発した大深度型の圧力計は水深7000mを超える海溝軸付近でも正常に動作しており、定期的な入れ替えにより圧力と温度の時系列データを取り続けている。本年度回収した圧力計の場所は、図1aに白丸で記した。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Detecting a relative motion across the Japan Trench using precise acoustic ranging Yamamoto, R., R. Hino, M. Kido, Y. Ohta, T. Kubota, F. Tomita, K. Ohta, Y. Osada, 2016, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 5月26日, 幕張 SSS02-P01.

(10) 平成29年度実施計画の概要 :

回収した2台の機器に加え未使用の3台の計5台を用いて、上記の福島沖の海溝軸に2017年3月の

航海で設置し、観測を開始する予定である。収束帯が海溝直交方向に一定の幅を持っている可能性を考え、海溝軸のみではなく陸側斜面へも基線を伸ばせるよう、設置場所の地形を詳細に調べるとともに、音響コマンドで測距頻度を変えられることを活かし、ワイヤー吊り下げで確実な音響パスを確保しつつピンポイント設置する方法を検討している。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

木戸元之・日野亮太・太田雄策・東龍介・本荘千枝・川田佳史（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

伊藤喜宏（京都大学）

JAMSTEC（飯沼卓史）

ミネソタ大学（和田育子）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：木戸元之

所属：東北大学 災害科学国際研究所

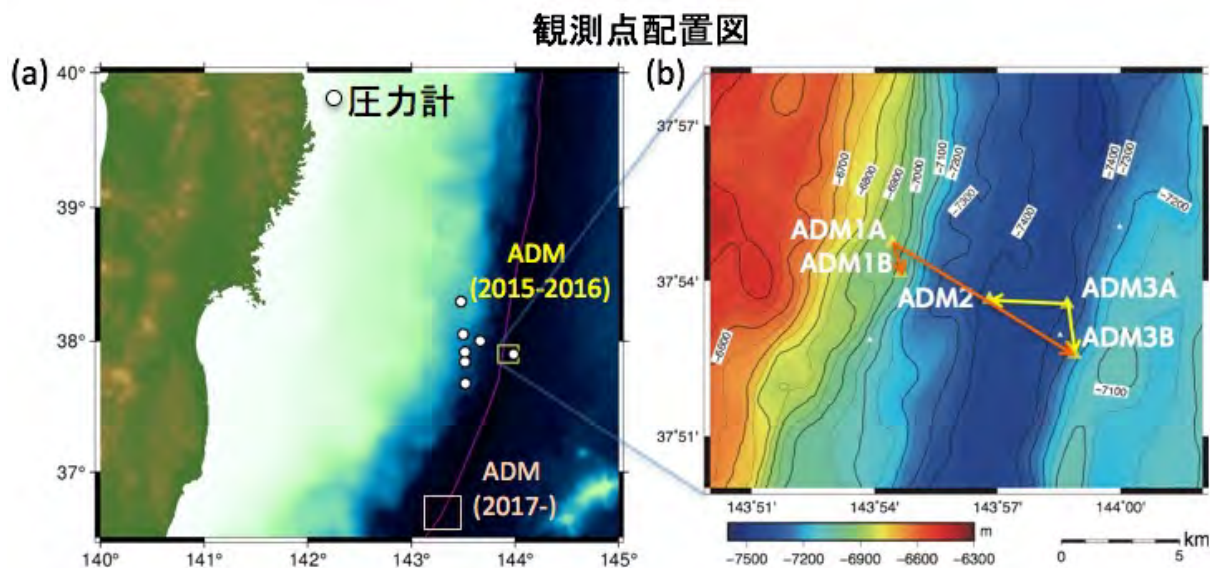


図 1

(a) 海底間音響測距装置回収海域（宮城沖）および設置予定海域（福島沖）と本年度回収した圧力計の配置図。(b) 海底間音響測距装置回収海域（宮城沖）の拡大図。5 台の装置を海溝軸を跨ぐように設置した。最も長い基線は 7240 m で、最大水深は 7400 m。

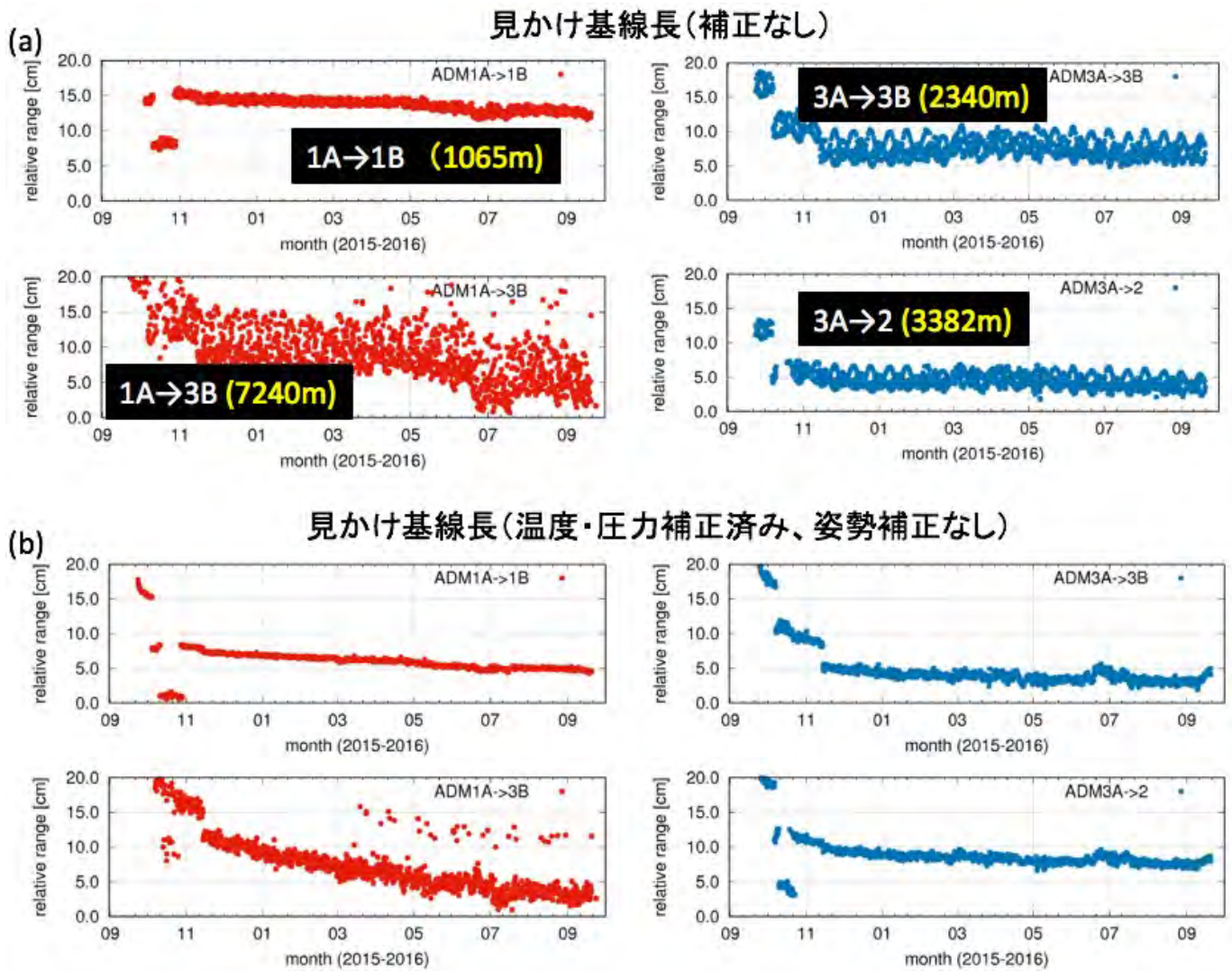


図 2

約 1 年間の見かけ基線長変化。(a) 音速などの補正はせず、1500 m/s の一定の音速を与えた場合の基線長。ばらつきの大きさは、基線長に反比例している。(b) 温度・圧力データにより音速補正を適用した後の見かけ基線長。姿勢変化に伴う数 cm レベルの見かけ変化が見られる。また、2015 年 11 月の基線長ギャップは付近発生した地震 (M5.1) によるものである。

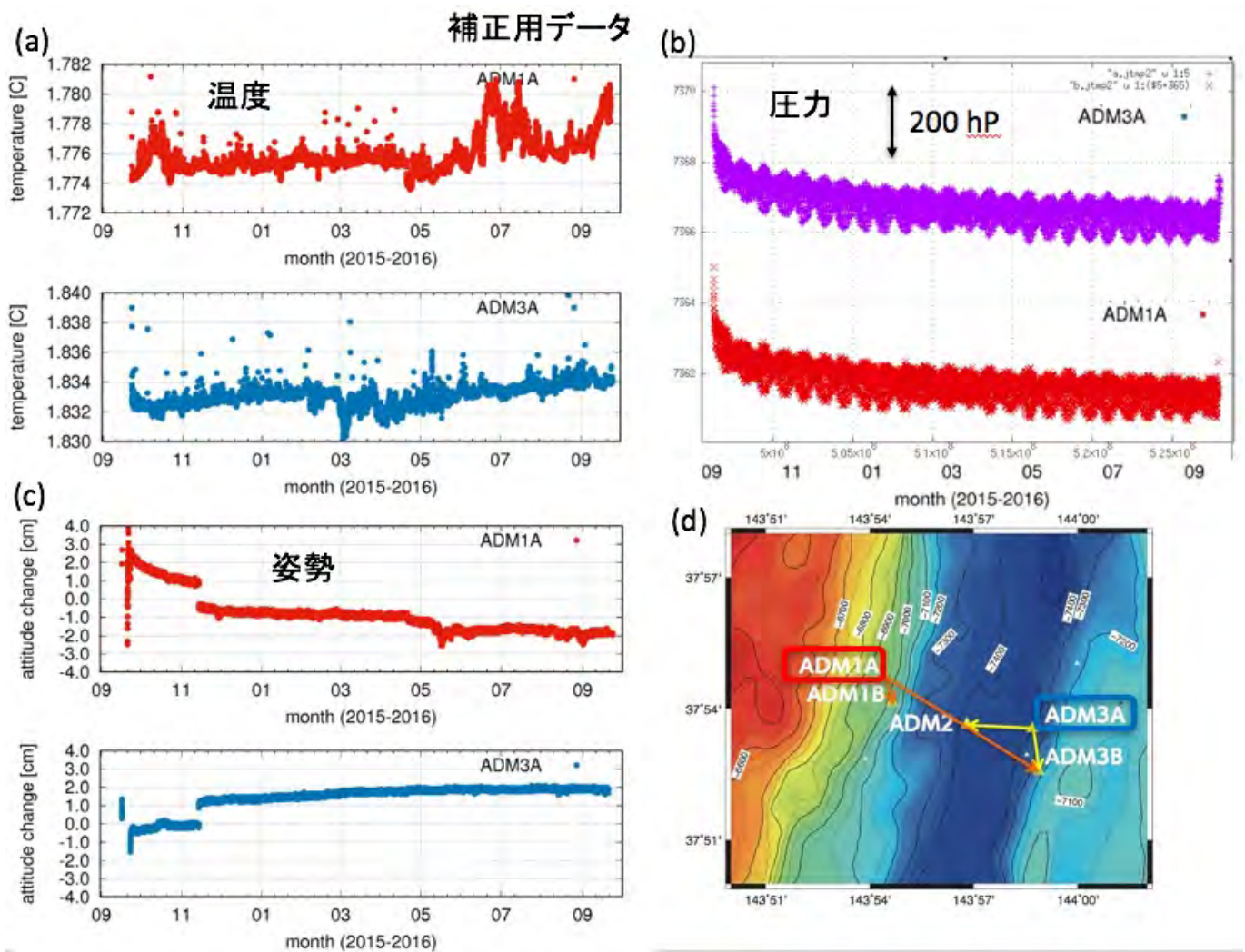


図 3

見かけ基線長補正に用いた (a) 温度、(b) 圧力、(c) 姿勢データ。回収した 2 台の機器 (d) に設置していたもの。温度・圧力のセンサーは RBR Duo を採用した。回収しなかった機器のデータは、一部は音響モデムで吸い上げたが、ここでは割愛する。

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻流体の連続化学観測にもとづいた地殻の状態評価システムの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、地下水に含まれる溶存イオンや溶存ガスの濃度・存在比・同位体比を連続的に分析するシステムの高度化と実装を行う。物理的・化学的な地殻の内部状態に関して情報を得るために、その変動パターンを説明する試みを行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度：

関東・東海地域にある温泉や鉱泉のひとつに、試作中の同位体比測定装置を試験導入する。温泉分析表に基づく候補地の絞り込みを行ったのち、いくつかの温泉で実際に採水分析を実施し、実施地の選定を行う。測定装置の実装においては、測定そのものだけでなく付帯する制御技術・生成技術の高度化を目指し、実験室環境での動作テストを実施する。

平成 27 年度：

選定した観測地での採水分析を定期的に行う。また、測定装置の小型化や耐久性を向上させる。イオン分析装置やラドン測定装置などを含めた装置群の集積化を行い、選定した候補地へ導入してテスト分析を開始する。

平成 28、29 年度：

選定した観測地での採水分析を定期的に行う。集積化した装置の耐久性を確認し、野外における連続運転に関連して発生する問題点を解決する。観測データの変動成分について情報を蓄積すると共に、測地学的データや地震学的データとの関連について検討する。

平成 30 年度：

これまでの内容を継続・総合し、システムのさらなる改良を検討する。最終的には他の研究者や行政機関が導入運用できるようなシステムを提案する。得られた観測データや時間変動パターンはホームページ上で公開する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

地球化学観測のために掘削された跡津川観測井において観測されたデータについて、地下水溶存ガスの組成変化を検討した。現在、跡津川断層の下盤側に設置されたストレーナから、テフロンパイプを用いて 1L/min の流速で直接採水を行っている。揚水に伴う減圧によって地下水から遊離した溶存ガスは、地上部に設置した自作のガス水分離装置で分離された後、ガス組成を四重極質量分析計で分析された。

ガス組成のうち酸素の成分は大気由来であると考え、標準大気の組成に基づいて、記録された溶存ガス組成から大気の混入成分を差し引いた。この補正データをもちいて N_2 -He-Ar の三成分プロットを行うと、溶存ガスの組成は、マグマ起源ガス・地殻起源ガス・大気起源ガスを端成分とする領域に収まるだけでなく、大気とマンツルの混合線上にも分布し、時間経過とともに混合線上を移動することが認められた。このように、溶存ガスの N_2 -He-Ar 三成分プロットは、簡便に三つの端成分の混合状態を評価する良い方法であることがわかった。

次に、マグマ起源ガス・地殻起源ガス・大気起源ガスそれぞれの N_2 -He-Ar 三成分比を定め、地下水溶存ガスの組成から、三つの端成分の混合比の時系列変化を計算した。マグマ起源ガスの組成はわずかな変動を示し、地殻起源ガスと大気起源ガスの比率が主要な変動成分であることが確認された。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Tsunomori F., Shimodate T., Ide T. and Tanaka H. (2017) Radon concentration distributions in shallow and deep groundwater around the Tachikawa fault zone. *Journal of Environmental Radioactivity*, in press.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

同位体比の連続観測用電源の実用化に向けて作業を進めるとともに、28 年度に確立した N_2 -He-Ar 三成分組成の時系列変化をホームページ上で表示できるようにする。また、抽出された後の地下水溶存ガスを連続的に精製する方法を改良し、水蒸気成分を極限まで減らすことを試みる。これにより、同位体比の準連続測定を行い、地殻起源ガスとマグマ起源ガスのフラックス評価を目指す。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者：東京大学大学院理学系研究科 角森史昭・田中秀実、参加人数：2 人
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学大学院理学系研究科
電話：03-5841-4624
e-mail：fumi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp
URL：

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：角森史昭
所属：東京大学大学院理学系研究科

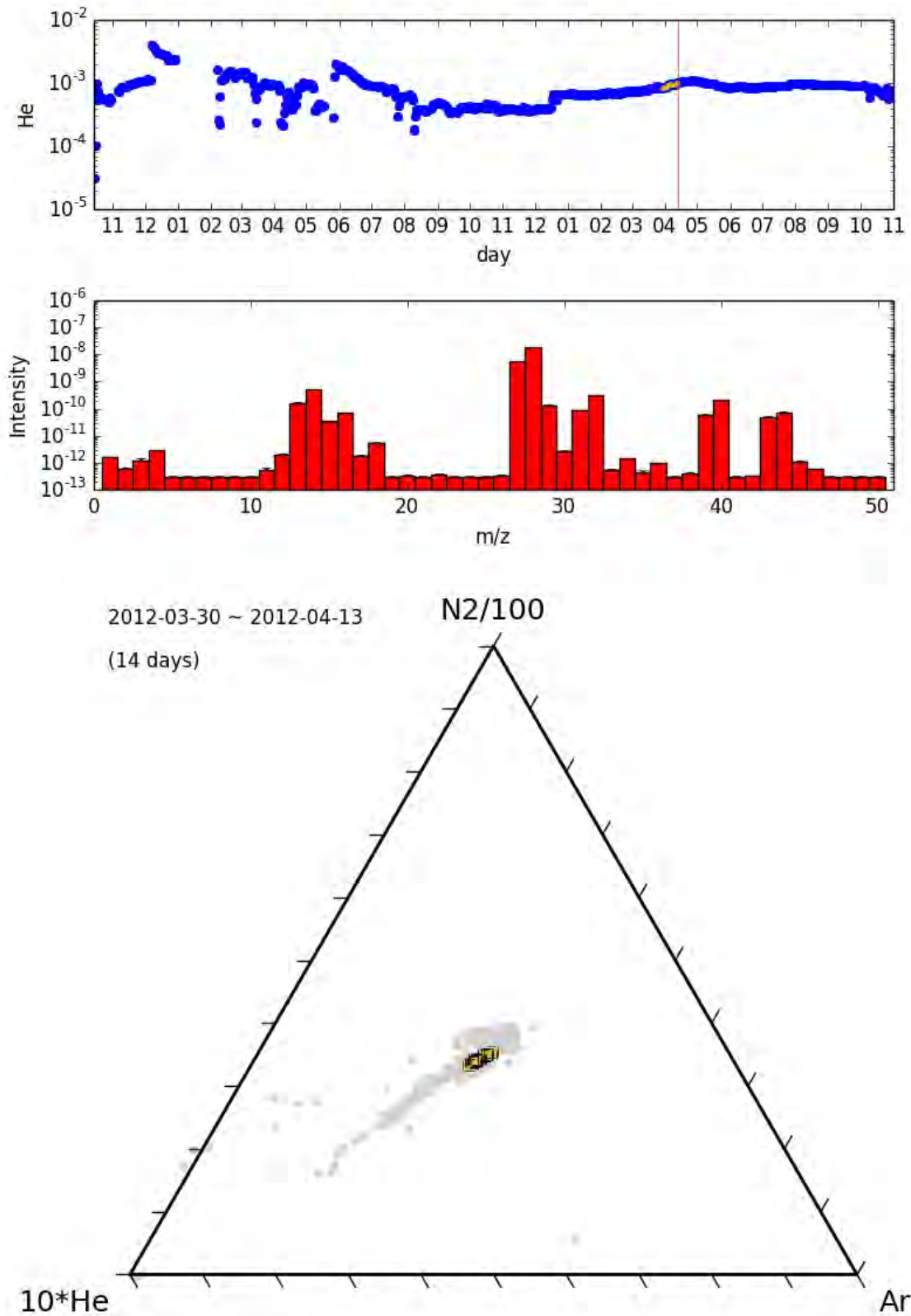


図 1

上段：観測期間全体の He の信号の変化。オレンジ色の点は 2 週間分を示し、赤の線は中段のスペクトルを表示した期日を示す。中段：上段の赤線で示した日の質量数スペクトル。下段： N_2 -He-Ar の三成分プロット。灰色の点は期間全体の点で、オレンジ色の点は上段に示した 2 週間分の点である。

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震発生場の階層性を考慮した地震活動予測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者, 技術者, 防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震発生場には様々な長さスケールの不均質構造が含まれている。その理解は地震の予測可能性を判断するうえで重要だが、現実的なプレート境界において、階層性をどのように定量化するか自明ではない。地震の階層性と関係ある現象として、プレート境界で発生する繰り返し地震や「ゆっくり地震」(深部微動、スロースリップ)を観測することが可能である。世界の様々な地域で、普通の地震やゆっくり地震活動の特徴を抽出し、その他の地球科学的情報を総合することで、階層性の地域性を抽出し、それらをもとに階層性を定量化する。さらに定量化された階層性を確率予測に導入するためのモデルを検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

巨大地震破壊プロセス、定常地震活動、繰り返し地震活動、ゆっくり地震活動の解析結果をもとに、地震発生地域ごとの地震の階層性の統計的性質を明らかにする。個々の地震の性質（地震エネルギー、継続時間など）のスケール法則と、対象領域で見られる地震活動パラメータ（Gutenberg-Richter 則の b 値、ETAS パラメータ）ゆっくり地震の時間空間的統計性質、さらには海底地形や重力データの分析によって、まずは階層性を定性的に把握する。既存の地震破壊プロセスの解析結果、地震活動カタログや過去に推定したゆっくり地震のカタログを最大限活用する。H27 年度より 3 年間、博士研究員を採用し、これらの作業を主に担当させる。

上記分析によって得られた定性的な性質を地震発生場の階層性として定量化する方法を開発する。まずは日本周辺の沈み込み帯を対象とする。すでに東北沖ではすべり分布、過去の地震活動や b 値の解析結果に基づいて不均質パッチモデルが提案されている（Ide and Aochi, 2013）。同様の手法で北海道沖、南海沈み込み帯などで不均質パッチモデルを構築し、これらのモデルの不均質性を既存の確率論的地震活動予測モデル（ETAS 等）に取り入れる方法を開発する。その際、ゆっくり地震の発生による応力変化という要素を予測モデルに取り入れることを目指す。この開発は H27 年度からはじめ研究期間内にプロトタイプ完成を目指す。プロトタイプが完成した場合、世界のいくつかの地域を対象に確率論的地震活動予測の試験を実施する。

本研究計画では、将来の地震、火山の研究者養成を重視している。階層性抽出のために用いる基礎情報、地震破壊プロセスの解析や震源決定は地震学における基本的問題であり、研究者を目指す学生の演習として良いテーマである。研究代表者は新規採用する特任研究員とともに、大学院生、学部生への演習的指導を行う。

年度ごとの作業内容：

H26 階層性の定性的把握、既存カタログ等の情報収集

H27 階層性の定性的把握、確率的地震活動予測モデル開発

H28 階層性の定性的把握、確率的地震活動予測モデル開発

H29 階層性の定量的把握、確率的地震活動予測モデル開発もしくは試験

H30 階層性の定量的把握、確率的地震活動予測モデル開発もしくは試験、研究総括

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

東北沖の繰り返し地震の地震波動エネルギーを推定し、その繰り返し時間間隔依存性から摩擦法則を推定する手法を開発し、その成果をまとめて論文として投稿した。複数の繰り返し地震グループについて、階層パッチモデルを構築するための、震源再決定を行った。また茨城沖を対象として、連続データからの自動イベント検出により、群発地震と繰り返し地震を検出した。大地震の前にはこれらの活動は増加し、地震直前には空間的に広がる前震活動として捉えられた。との関係について調べた。地震活動と潮汐応力の関連性から、階層性のある場での地震活動度の時間変化を評価する手法を開発した。世界および東北沖の地震活動と、朔望周期程度で変化する潮汐応力の振幅を比較したところ、振幅が大きいときには、地震のサイズ頻度統計が変化し、Gutenberg-Richter 則の b 値が小さくなることがわかった。地震の破壊過程が階層的であり、その階層進展確率が、潮汐によって変化すると考えるとこの結果は理解しやすい。この成果は Nature Geoscience 誌に出版した。摩擦法則の不均質性と地震の階層性との対応について 2 次元シミュレーションを行い、コントロール集合的な階層的不均質性によって破壊エネルギーが増大することを示した。この成果は他の成果とともに Journal of Geophysical Research 誌にて出版した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Yabe, S., and S. Ide, Slip-behavior transitions of a heterogeneous linear fault, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, doi:10.1002/2016JB013132, 2016.

Ide, S., S. Yabe, and Y. Tanaka, Earthquake potential revealed by tidal influence on earthquake size-frequency statistics, Nature Geoscience, 9, 834-837, 2016.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

東北沖の複数の繰り返し地震グループについて、高精度相対震源決定、震源すべりインバージョンなどの手法を用いて、階層パッチモデルとしての定量化を進める。階層性を持つ地震発生場における、長期地震活動シミュレーションシステムを開発するとともに、その簡略表現を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井出哲 (東京大学大学院理学系研究科)

他機関との共同研究の有無 : 有

フランス BRGM 青地秀雄

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

電話 : 03-5841-4281

e-mail :

URL : <http://www.eps.s.u-tokyo.ac.jp/index.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 井出哲

所属 : 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題(または観測項目)名：

噴火推移モニタリングのための火山ガス観測装置の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山噴火予測においては、噴火が開始したのち、噴火活動がどのように推移していくかを予測することも非常に重要な課題であり、活動の活発化や静穏化を見極めることは、防災・減災計画を検討して行くうえで不可欠である。火山ガス放出率、特に二酸化硫黄放出率は、地下にあるマグマの量や挙動を反映して変動するパラメータであり、その増減の推移を監視し、他の観測データと合わせて評価することは噴火活動の推移の理解に多大な貢献が可能である。一方、噴火に対応して、二酸化硫黄放出率を観測できる観測者の数は限られており、噴火開始後に、高い頻度で噴火推移をモニタリングし続けることができないのが現状である。このような状態を打開するため、噴火発生に対応して、迅速に観測態勢を立ち上げられるようなモニタリングシステムの開発や火山ガス測定の経験がなくてもガス放出率測定を容易にできるような観測装置の開発をすることで、噴火後の火山活動推移の火山ガスモニタリングを可能にすることが目標である。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究計画では、低価格 CCD カメラを使用した二酸化硫黄可視化モニタリング装置、ポータブルなガス放出率自動測定装置および簡易型トラバース測定装置の開発、そして、これらの装置のフィール

ドテストおよび噴火可能性のある火山周辺での事前調査が主な内容となる。各年度の概要は以下のとおりである。

平成26年度：二酸化硫黄可視化モニタリング装置と簡易型トラバース測定装置の設計・開発をおこない試作機のテストを実施する。

平成27年度：上記2装置の開発を継続する。浅間山火山、桜島火山、阿蘇火山などでテスト観測を実施する。後半からは、ポータブルガス放出率自動測定装置の設計・開発に入る。

平成28年度、平成29年度：ポータブルガス放出率自動測定装置の開発を継続するとともに、これまで開発した装置のフィールドテストを実施しつつ、装置の問題点などを修正して行く。1-2ヶ月単位で、複数の火山で試験測定を行うとともに、噴火が生じた際の装置設置場所などの事前調査をいくつかの火山で実施する。

平成30年度：平成28、29年度の内容を継続するとともに、一般ユーザーでも設置から稼働まで行えるように最終的な改良やマニュアルを作成する。

なお、5か年中に噴火が発生した場合、その時点でできるだけの対応をする。

(8) 平成28年度の成果の概要：

本研究課題で、設計・開発した簡易型トラバース測定装置は2014年11月末以降、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率モニタリングに屋久島 口永良部島間のフェリーで使用されてきた。この間、装置の改良および、測定の簡易化を進め、現在は甲板に集光光学系を常設し、紫外分光器、GPS、制御用の小型PC(Raspberry Pi Model B+)、3Gルーターなど装置のメイン部分を操舵室内に設置している。このため、現在は操舵室でスイッチを入れるだけで自動的に観測・データ転送までを行うシステムとなっている。今年度は、測定プログラムの修正を行ったほか、装置全体のメンテナンスなどを行い、観測を継続してきた。本研究課題で開発した簡易型トラバース装置によるフェリーでの測定を開始してからすでに2年以上経過しており、この間、口永良部島の2015年5月29日の噴火前、そして噴火後の二酸化硫黄放出率推移を測定し、活動を理解するうえで貴重なデータを供給してきた。特に気象庁の火山活動解説資料に採用されており、口永良部島の火山活動の監視に役立っている。

上記の口永良部島での二酸化硫黄放出率の繰返し観測は、公共交通など定期運行されている移動体を使用した二酸化硫黄放出率測定の有効性を示したはじめての例であり、特に頻繁に二酸化硫黄放出率測定することが難しい口永良部島を含む離島での火山ガス監視には有効で手法であると考えらえる。二酸化硫黄可視化モニタリング装置に関しては、昨年度製作したプロトタイプを阿蘇山で試みたが、観測条件が悪く、定量観測には至らなかった。一方、自動測定に向けたソフトウェアの開発を行い、遠隔地から測定を開始・制御できる測定プログラムのテストバージョンを開発し、室内での挙動テストを実施した。また、ポータブルなガス放出率測定装置に関しては、昨年度に選定したシステムをもとに、測定の中核部分のプロトタイプを作成した。また、このプロトタイプの制御用のソフトウェアを作成し、自動連続測定ができるよう、ソフトウェアのチューニングを進めている。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 平成29年度実施計画の概要：

簡易型トラバース測定装置に関しては、今後も口永良部島の火山ガス測定を継続し、噴火後のガス放出率推移の監視にあたる。これまでの2年以上にわたる口永良部島の測定により、本研究課題で開発したシステムの有効性がしめせたので、さらなる応用に向けて取り組む予定である。

二酸化硫黄可視化モニタリング装置に関しては、平成28年度に作成したソフトウェアを用いて実際にフィールドテストを実施する予定である。さらに、現在使用しているCCDカメラは紫外光へ感度が低いため、もう一度、CCDカメラの再選定を行い、より可視化観測に適したハードウェアを設計する。ポータブルなガス放出率自動測定装置に関しては、平成28年度に作成した中核部のプロトタイプのフィールドテストを実施するとともに、持ち運びおよび設置のしやすさを考慮したシステムに向けて、

装置全体を設計し，作製する．

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学大学院理学系研究科 森 俊哉、 角森史昭
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設
電話：03-5841-4649
e-mail：mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp
URL：http://www.eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森 俊哉
所属：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震・火山災害の関連史資料に基づく低頻度大規模災害の調査

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究の目的は、文献史料データ・考古データ・地質データなどを用いて、過去に発生した大規模地震・津波や火山噴火とそれによる災害の実態を分析し、近代的な調査・観測データとの比較・検討から低頻度大規模災害の実態を解明することである。

本研究では、北海道大学大学院理学研究院が中心となり、津波堆積物の報告書などを調査し、津波堆積物に関する内容について時系列順・地域別に収集・整理してデータベースを構築する。津波堆積物に関する地質データのうち、近代的な調査・観測データとの比較・検討が可能な事例については、評価方法を検討して調査・観測データとの統合を目指す。

文献史料データ及び考古データを全国的・通時代的に収集・整理する研究、並びに地域を限定して様々なデータを精査する研究は、それぞれ別件の研究課題において計画されている。そこで本研究で

は、それらの研究課題によって得られた地震・津波・火山噴火などに関する位置情報について緯度・経度へ変換し、地質（津波堆積物）データと文献史料データ・考古データとの統合的分析が可能なデータベース及び地理情報システムを構築する。

また、本研究では、文献史料データ及び考古データ・地質データを総合的に分析して、近代以前に発生した1703年の元禄地震や1707年の宝永富士山噴火などの大規模地震や火山噴火について多角的に分析する手法を確立する。その準備作業として、既刊地震史料集の史料本文について、確実な史料や良質な刊本に基づいて校訂（原史料・原本による本文の訂正）を行う。校訂作業を経た信頼性の高い史料を用いて、大規模な地震・津波・火山噴火で被害の生じた場所を特定し、個々の被害程度などを推定する。この史料本文の校訂作業に際しては東京大学史料編纂所の協力を得る。

更に、上記のような近代以前の地震・津波などに関する文献史料・考古・地質データを用いて、先史時代・歴史時代における地震の被害分布図・震度分布図、津波高分布図、津波浸水（到達）図、火山災害地図などを作成する。これに加えて、強震動予測や津波シミュレーションなどの手法を用いて、過去に発生した大規模地震・津波の実態を分析し、低頻度大規模地震に関する強震動・津波の発生予測などの検討に資することを目指す。

（7）本課題の5か年計画の概要：

[平成26年度]

既刊の津波堆積物の報告書などを調査し、津波堆積物に関する内容を収集・整理してデータベースを構築する。また、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、信頼性の高い史料の原本調査と校訂作業を実施する。特に、関東地方での事例を対象とする。

[平成27年度]

津波堆積物の報告書などを調査してデータベースを構築し、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、継続して校訂作業を実施する。また、本研究における地質データや校訂済み地震史料データ、別件の研究課題における考古データや文献史料データなどを用いて、先史時代・歴史時代に発生した大規模地震・津波・火山災害を統合的に分析可能なデータベース及び地理情報システムの試作版を構築する。これに基づいて、歴史時代に関東地方で発生した大規模地震・津波・火山噴火について実態の解明を試みる。

[平成28・29年度]

津波堆積物の報告書などを調査してデータベースを構築し、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、継続して校訂作業を実施する。また、文献史料・考古・地質データの統合的な分析を可能とするデータベース及び地理情報システムの構築を行う。

[平成30年度]

津波堆積物の報告書などを調査してデータベースを構築し、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、継続して校訂作業を実施する。また、文献史料・考古・地質データの統合的な分析を可能とするデータベース及び地理情報システムを構築して、先史時代・歴史時代に関東地方以外で発生した大規模地震・津波・火山災害の実態を解明する。

（8）平成28年度の成果の概要：

津波堆積物の調査及びデータベース化に向けての準備作業

津波堆積物のデータベース化は、東北大学のプロジェクト研究に参加し、主に北海道の既存資料を整理した。成果は今年度中に公表される予定である。

ロシアの沿海州と北方領土における歴史津波と先史時代の津波痕跡について、ロシアの研究者と共同で調査を継続している。1993年北海道南西沖地震の津波堆積物は沿海州のバレンティン湾周辺で面的に残されている。本年度はここを集中的に調査し、砂層の層厚、粒度、比重の分布を求めた。北方領土では、1994年北海道東方沖地震の津波が最も高かった国後島北東部の海岸にまで調査域を拡大した。歴史時代の津波痕跡の候補も発見したが、年代測定用の泥炭や鍵層となる火山灰といった試料は

まだ分析できず、イベントの同定には時間を有している。

古地震に伴う地殻変動の痕跡となりうる海岸の隆起地形と生物痕跡について、2015年4月24日に北海道の羅臼町幌萌海岸で発生した地すべりに伴う海岸隆起を、昨年度から調査している。隆起した礫に付着していた海草類の中では、石灰質の藻体を持つピリヒバのみ一年以上経過した後も明瞭に識別できた。ただし、隆起域の波浪による浸食は大きく、2016年10月には最大隆起部分を含む大部分が消失していた。

地震や津波の痕跡がどのような場所、条件で保存されるかを確認するため、青森県三沢市の海岸において、2011年東北地方太平洋沖地震津波で形成された津波堆積物を追跡調査した。その結果、2011年4月に津波堆積物を記載した13測線上の137点のうち65点(47%)で、主に防砂林の中で堆積後に形成された数cmの土壌の下に、砂からなる津波堆積物が保存されていた。一方で、元の層厚が1cm以下の堆積物は、住宅地の敷地内では片付けられ、また防砂林内でも検出できなくなっていたものが多かった。

史料に基づく震度分布図の試作版の作成

前近代に発生した低頻度大規模災害である地震災害については、近代的な観測機器によるデータが存在しない。そのため、前近代の災害について調査・研究を行う際には、歴史学で使用されていると同様の史料を用いて、個々の記述内容から被害の実像を検討する必要がある。その際には、現存する多数の史料から記述内容の信憑性が高い史料を選定し、それに基づいて被害の実態やその発生場所を分析しなければならない。

本年度は、近世の京都盆地に被害を及ぼした地震の中で、文禄伏見地震(1596年)と寛文近江・若狭地震(1662年)と文政京都地震(1830年)について、信憑性の高い史料記述を使用し歴史学における研究成果を援用して、被害地震ごとに推定震度分布図の試作版を作成した。これらの震度分布図は地理情報システムを基盤としており、本研究課題で構築中である史料・考古データに基づく歴史地震火山統合データベースに、組み込まれる予定である。

地震によって建造物が受ける被害の程度は、推定されている震源断層・震央からの距離や地震の揺れの大きさだけでなく、被害を受ける建造物自体の特性にも依存している。そのため、史料記述にある被害状況だけでなく、被災直前の当時の建造物について様々な条件を分析し、より多角的に被害状況を評価して震度を推定する必要がある。そこで本研究では、経年劣化による建造物の強度の低下と、屋根材の重量による倒れやすさに着目し、建造物の築年数と屋根材の種類による脆弱性の増減に基準を置いて、地震被害の評価を行った。そして、この被害評価に基づいて、建造物の被害発生場所ごとに推定震度を導き出し、数値標高モデルを利用して推定震度分布図を作成した。

文禄五年閏七月十三日(グレゴリオ暦:1596年9月5日)に発生した文禄伏見地震では、京都盆地の北部に位置する京都の市街地で震度の大きな場所が多いが、盆地南部の伏見城や八幡にも震度の大きな場所がある。また、寛文二年五月一日(同:1662年6月16日)に発生した寛文近江・若狭地震では、被害は京都盆地の東縁部に偏在しているが、盆地北部に位置する京都の市街地よりも、盆地南部の京橋町や淀城といった場所で震度が大きい。さらに、文政十三年七月二日(同:1830年8月19日)に発生した文政京都地震では、京都盆地北部の京都の市街地に震度の大きな場所が多いが、盆地南部の伏見奉行所や淀城にも震度の大きな場所がある。

これらのことから、京都盆地の近傍で大きな地震が発生した場合、京都の市街地が位置する京都盆地北部よりも、伏見や淀が位置する盆地南部の方が震度が大きくなる傾向がある。この要因として、近世の京都の市街地は京都盆地北部の扇状地上に位置しており、地盤条件は比較的良好であるが、盆地南部は氾濫原や低湿地といった軟弱地盤地帯が占めており、地盤条件の相違が震度に影響を及ぼしていると考えられる。なお、本研究で作成した推定震度分布図の試作版では、建造物の被害状況から震度を推定しているために、被害発生場所は当時の人々が生活していた場所に偏在するという特徴がある。

A. Nishiyama, 2016, The characteristic of the building damage from historical large earthquakes in Kyoto, EGU General Assembly 2016, D.99 EGU2016-6067 (Poster), Vienna, Republic of Austria, Austria Center Vienna (ACV), 17-22 April, 2016.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

津波堆積物の報告書などに基づくデータベースの整備に向けて、データの収集・分類・分析を進める。また、近代以前の大規模地震・火山噴火災害の関連史料について、校訂作業を継続して実施し、地理情報システムの新たな試作版を構築する。さらに、史料データ・考古・地質データの統合データベースの試作版を構築し、先史時代・歴史時代に発生した大規模地震・津波・火山災害の総合的な調査・研究を目指す。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 佐竹健治・西山昭仁
他機関との共同研究の有無 : 有
東京大学史料編纂所 佐藤孝之・他 5 名
北海道大学大学院理学研究院 西村裕一

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 佐竹健治
所属 : 東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

揮発性成分定量による活火山爆発力ポテンシャル評価とマグマ溜まり深度の再決定

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では，噴火確率の高い火山や，大規模災害を引き起こす可能性のある火山の火山噴出物について，顕微赤外反射法を用いて，効率良く多数の試料の揮発性成分定量分析を実施し，火山噴火研究の基礎資料を作成する。

マグマ中の揮発性成分量(特に水の量)は，個々の火山の「爆発力ポテンシャル」として重要であるばかりでなく，熱力学平衡をとおしてマグマおかれた温度圧力条件の評価にも大きな影響を与える。このため，過去の噴火のマグマプロセスを物質科学的に評価するためには，マグマの含水量の決定が不可欠である。しかし，これまでは測定自体の難易度が高かったため，研究対象になった火山噴火が限られており，非常に少ない含水量データしか蓄積されていない。また，分析可能な大きさ試料に限られていたため，分析試料のバイアスによる含水量評価の偏向の恐れもあった。本研究では，多数の試料の分析によって，これまで欠けていたデータの提供を行う。加えて，マグマ溜まり深度の再決定を行う。従来の物質科学研究によるマグマ溜まり深度の見積もりは含水量データの不足によって 1kb (4km) 程度の不確定性があったが，多数の揮発性成分量のデータを加えることによって，これを従来の半分以下(1~2km)で再決定することを目指す。

本研究によって，目的とする火山の爆発ポテンシャルや深度等のマグマ溜まりの状態の時間変化についての知見を積み上げることができれば，その火山の噴火シナリオの作成等の研究にも貢献することができよう。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

研究の根幹となる顕微赤外反射法については、すでに基礎的部分の開発が終了している。この方法を実際の火山噴出物に応用して、火山噴火についての基礎試料として噴火前のマグマ中の揮発性成分量を決定する計画である。この方法ならば、20~30ミクロンサイズの斑晶ガラス包有物試料について、比較的容易に実用的な精度で水の定量分析することができる。毎年200個以上の斑晶メルト包有物を分析し(5年間で1000個)、地質基礎データの整備に貢献する計画である。

より具体的には、以下の2項目についての研究を実施する。

(1) マグマ噴火の頻度の高い火山を対象として、多数の揮発性成分データを収集し、データベース化する。また、他の岩石鉱物学的情報とあわせて、マグマ溜まり深度の再決定を行う。一つの噴火あたり40~50試料のデータを得られれば、その噴火のマグマの特徴をかなり正確に把握可能であろう。一つの火山あたり連続する数回の噴火試料を分析すれば、マグマ溜まり環境の時間変化を捉えられる可能性がある。そこで、現在から過去にさかのぼって4~5回の連続する噴火の噴出物を分析対象とする。対象とする火山としては、富士山、伊豆大島、三宅島、浅間山を予定している。

(2) 大規模災害を引き起こす可能性のある火山を対象にして、過去に発生した大規模噴火とそれに先行する複数の小規模噴火時の試料解析から、大規模噴火に到るまでのマグマ溜まりにおける揮発性成分量変化と不均質の程度を読み出す。対象とする大規模噴火としては始良カルデラ噴火を予定している。

研究は、各年度に2~3火山を対象としてとりあげ、1火山について2~3年かけて、化学分析とデータ解析をおこなう。平成26年度においては、富士山と始良カルデラ噴火についての研究に着手する。

(8) 平成28年度の成果の概要:

今年度は主として伊豆大島の最近数百年間の噴火噴出物について分析を行い、そのマグマ溜りの含水量とマグマ溜り深度がどのように変化しているかを調べる計画であったが、一部予定を変更し、諏訪之瀬島と西之島の噴出物の分析も行った。諏訪之瀬島は、最近数十年間にわたって小規模なマグマ噴火を頻発している活動的火山だが、近年、南九州地域の火山活動は特に活発化しており、約200年前(文化10年)に発生し全島避難につながったようなやや規模の大きな噴火の発生が懸念されている。西之島は2013年末から2年間連続した噴火が収束し、ようやく本格的な試料採取が可能となった。そこで、これらの火山のマグマ供給系の特徴を明らかにするための解析を行った。

伊豆大島火山については、噴火規模と組成変動の関係の概略を知るために、噴火規模が異なる次の5つの噴火について噴出物の分析を行った。1974年(VEI=0), N2(VEI=4, 0.06km³), Y4(VEI=4, 0.23km³), Y6(VEI=4, 0.04km³), 1986年(VEI=3, 0.029km³)。VEI値と噴出量(DRE換算値)はいずれも気象庁のホームページに拠る。1986年噴火についてはA火口噴出物とC火口噴出物を区別して解析した。メルトインクルージョンのSiO₂量の組成範囲についてはいずれの噴火でも大きな差はない(図1(a))。全岩組成よりも分化した組成のメルトが捕獲されており、逆累帯や波状累帯を示す斑晶組織の顕著なことから合わせて、複数のマグマの関与によって噴火が発生していることが明らかである。ただし、斑晶組成のヒストグラムに示されているように、分化側のマグマと未分化側のマグマの関与の程度は、噴火ごとに様々に異なっているようである(図1(b,c))。マグマの含水量については、1986年噴火では2wt%程度だが、N2やY6噴火では2.6-2.8wt%程度と1986年噴火よりもやや多い。マグマの状態と噴火規模についての関係性は明らかではなく、今後さらなる検討が必要である。

西之島火山の噴火については、安山岩質であるにも関わらず比較的流動性が高い溶岩流を主体とした噴火活動が観察されており、その原因に興味をもたれていた。そこで本研究では、2016年6月に無人ヘリによって採取されたスコリア試料、および、2016年10月に上陸した調査チームによって採取された溶岩流試料の分析を行った。全岩化学組成はスコリア主体の活動であった1973-74年噴火の試料(海野・中野, 2007)よりも1wt%程度SiO₂に富む。2013年末からのおよそ2年間の活動期間を通じて、大きな組成変化は見られない(図2(a,b))。スコリア試料の単斜輝石と斜方輝石斑晶組成から計算したマグマの温度は、1973-74年噴火のマグマよりもやや高温(~50程度)を示す(図2(c))。ま

た，反射顕微 FTIR 分析および Lange et al. (2009) の方法を使って斜長石-液組成平衡から求めたマグマの含水量は 1.5 wt% 程度であった．斑晶メルトインクルージョンの組成変化と全岩組成とを比較して MELTS を用いて結晶分化環境を計算すると，低圧かつ低含水量 (0.5kb, 0.5-1.5 wt% H_2O) の環境が要請される (図 2(d)) ．この含水量は FTIR 分析による含水量分析値と調和的であり，浅所に一時的にマグマが滞留する場所が存在して，そこで斑晶メルトインクルージョンの捕獲が行われたためと解釈できる．マグマがもともと高温であったことと，浅所に一時的に滞留することである程度脱ガスが行われてから噴火に至ったために斜長石の微結晶の成長が抑制されたことが，2013-2015 年噴火が 1973-74 年とは異なり流動性のある溶岩流主体の活動となった要因であろう．今回の噴火試料の斜長石斑晶の多重累帯構造からは，この浅所のマグマの滞留場所に対して，より深部から複数回のマグマの注入が起こっていることが示唆されている．しかし，全岩組成の変化はほとんど見られず，深部からのマグマ組成と噴出したマグマ組成に大きな変化はないものと思われる．深部のマグマ供給源の環境については，未だ十分な制約を与えることができていない．

諏訪之瀬島については，1813 年噴火の安山岩質スコリア試料の分析を行った．主な斑晶は，斜長石と単斜輝石，斜方輝石であり，先行研究においてマグマの温度はコア部分で 1050 程度，リム部分で 1100 程度と二輝石温度計を適用して求められている (嶋野・小屋口, 2001) ．本研究では斜長石と輝石斑晶中のメルトインクルージョンの含水量を反射顕微 FTIR 分光法で求め，0.8-2.2 wt% を得た．メルトインクルージョン捕獲後のリークの可能性を考えると，測定値の最大値付近の 2 wt% 程度がマグマ溜りの含水量と考えられる．この値は斜長石と液組成に Lange et al. (2009) を適用して見積もった含水量値とほぼ一致している．今後はマグマ溜りの深度を見積もるとともに，最近の火山活動の噴出物が示すマグマ溜り環境との比較を行う予定である．

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
安田 敦・金子隆之・大湊隆雄・前野 深・中田節也・外西奈津美・武尾 実・高木朗充, 2016, 無人ヘリによる西ノ島の観測 (2) : 採取試料の岩石学的特徴, 火山学会秋季大会予稿集, 126.

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度に引き続き，伊豆大島，西之島，諏訪之瀬島の噴火試料の解析を行う．伊豆大島については FTIR 分析が可能な斑晶メルトインクルージョンがまだ十分に得られていないので，より多くの試料を採取してマグマの深度と含水量の変化の把握に努める．西之島火山については，活動期間の最初から最後まで溶岩流試料が得られているため，これらの斑晶組成について時間変化を主眼として分析を行い，2 年間の活動中にマグマ温度がどのように変化したかについての検討を行う．諏訪之瀬島火山については，最近の噴出物の解析を行い，1813 年の活動と現在の噴火活動とのマグマシステムの差異について検討を行う．

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 安田 敦
他機関との共同研究の有無 : 無

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

- (13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 安田 敦

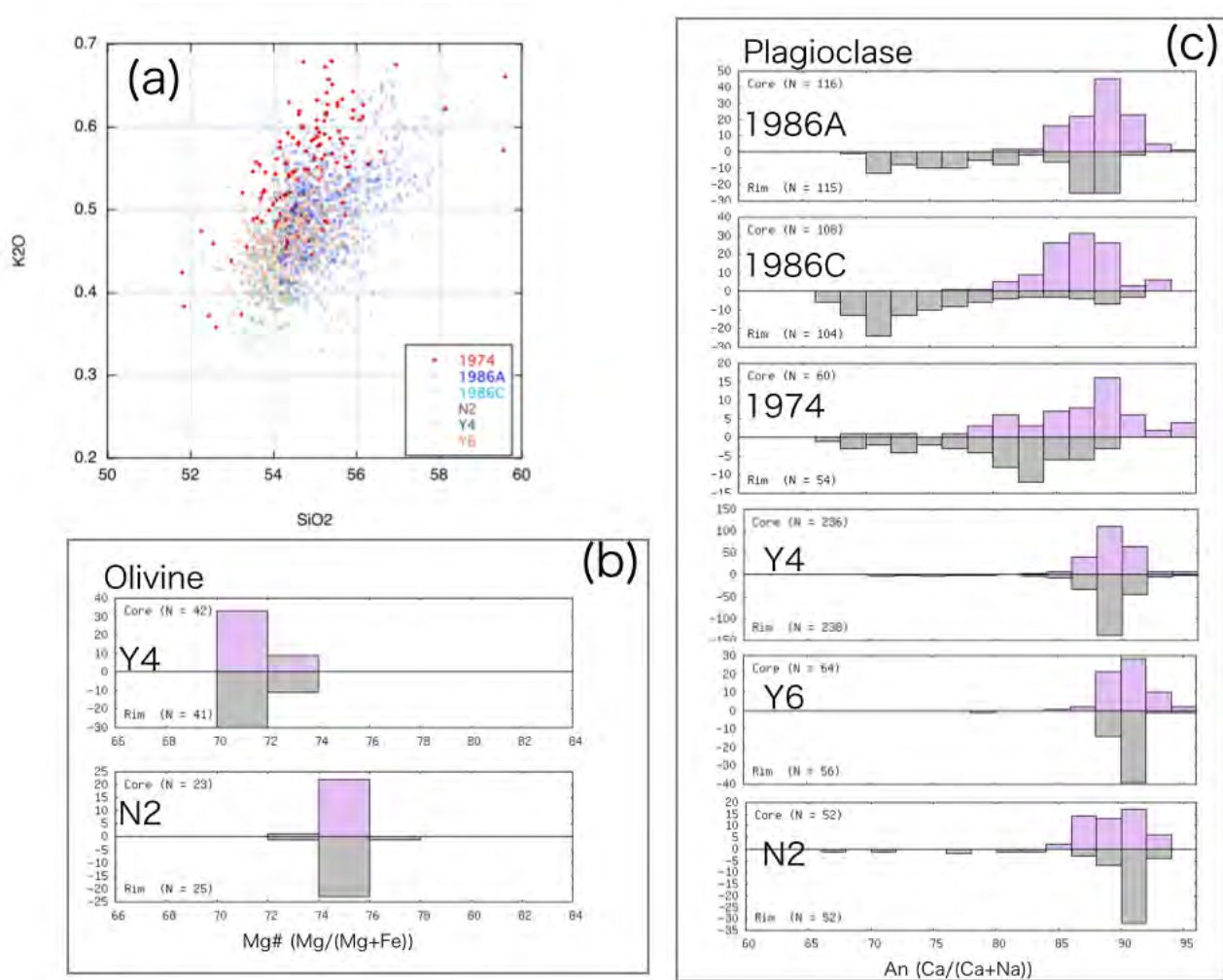


図1．伊豆大島火山噴出物の組成

(a) 斑晶メルトインクルージョン組成, (b) かんらん石斑晶の組成ヒストグラム, (c) 斜長石斑晶の組成ヒストグラム

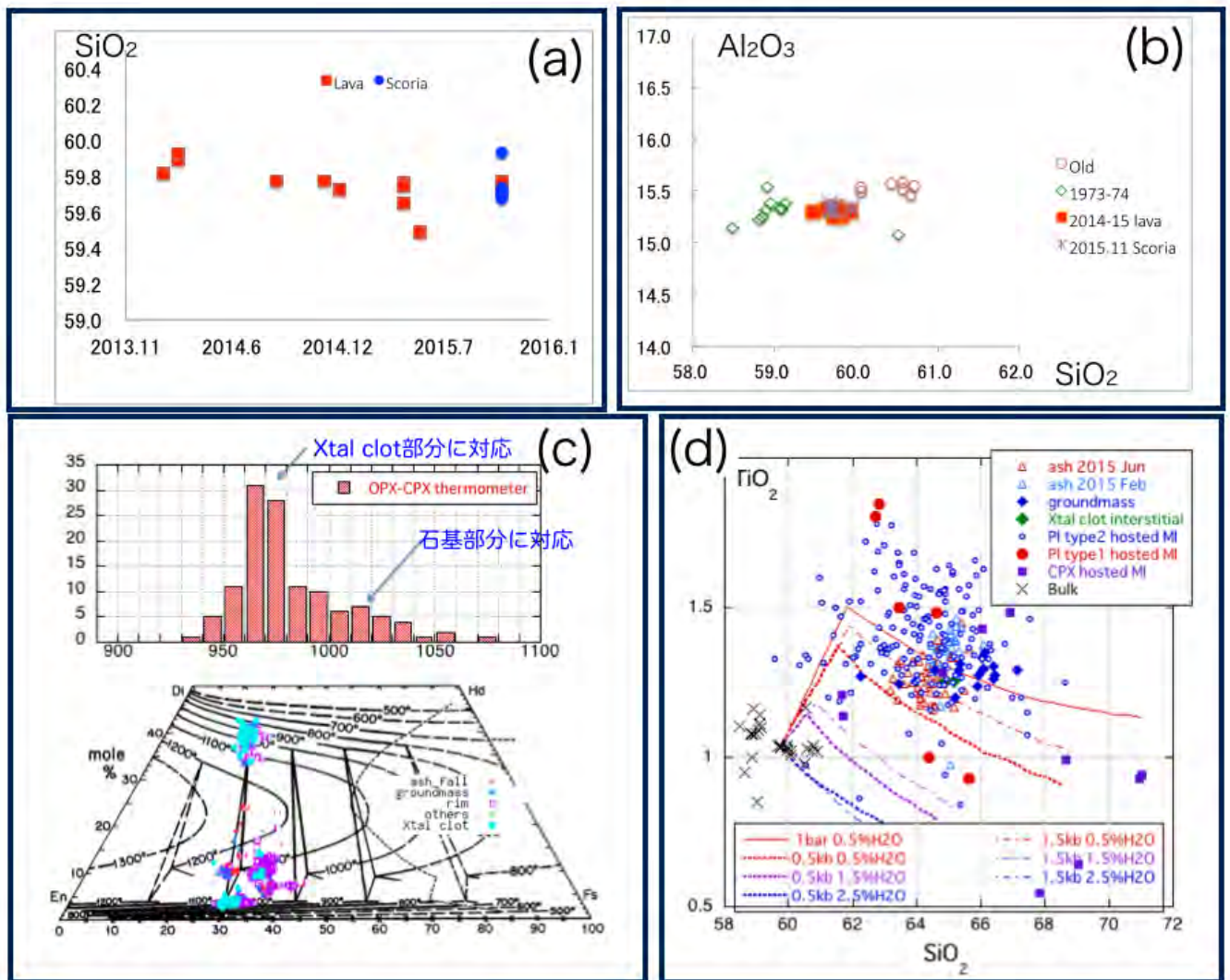


図2 . 西之島火山 2013-2015 年噴火活動の岩石学的検討
 (a) 全岩組成の時間変化, (b) 過去の噴出物組成との比較, (c) 輝石斑晶組成から見積もったマグマの温度, (d) メルトインクルージョン組成, 石基組成と MELTS によって計算した分化曲線

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

日本海溝・相模トラフプレート境界で起こる多様なすべり現象の包括的モデル構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

東北地方太平洋沖地震発生の前後を中心とした地震・地殻変動観測データの見直しからは、日本海溝沈み込み帯においても、非地震性すべりのすべりプレートに時空間的なゆらぎがあることが明らかとなってきた。また、東北沖地震で大きな地震時すべりを示した範囲内に、地震発生以前では M7.5 程度の地震を繰り返す領域やその後の余効すべりのすべり域が混在していて、プレート境界断層面上の同じ場所が東北沖地震の発生前と発生時とで異なるすべり特性を示した可能性がある。こうした、プレート間すべりをもつ多様性をモデル化することは、沈み込みプレート境界における地震発生機構に

関する理解の刷新に必要不可欠であるばかりでなく、この領域における地震サイクルをモデル化することによって大地震発生の長期予測の信頼性を高めることに資する。

本研究では、プレート境界においては余効すべりと固着の回復とが競合して進行していると考えられる東北沖地震の震源域とその周辺において、海域を中心とした測地・地震高密度観測を実施し、地震活動・余効変動との中で発生する多様なすべり現象の詳細を明らかにするとともに、プレート境界付近の構造を明らかにする。また、観測から得られた構造モデルを制約条件としてプレート境界の状態を再現した摩擦実験から、多様なすべり現象がおこる条件・要因を明らかにし、摩擦構成則の定式化を行う。さらに実験により得られた摩擦構成則に基づいて数値モデリングを行い、日本海溝の沈み込みプレート境界で起こるすべり現象の多様性を統一的に説明し得るモデルの構築を試みる。こうした観測・実験・モデル研究の成果を統合して、この領域のプレート境界でおこるすべりの時空間発展に関して、より現実的な予測の実現をめざす。

東北沖地震の破壊領域の南側に隣接する房総半島沖においては、スロースリップ現象が数年程度の短い間隔で繰り返し発生している。そこで、上記の日本海溝における海底観測や陸上観測（別課題にて提案）と連携して、この領域で発生するスロースリップの観測を行い、海陸の観測で繰り返し発生するスロースリップの発生を規定する物理モデルの構築を試みる。構築されたモデルに基づいて、さらに次のサイクルで発生するスロースリップの発生時期や規模を予測する実験に発展させる。通常の地震に比べて繰り返し間隔が短いスロースリップは、このような予測実験に格好な対象である。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究計画は、海域観測研究と実験・モデリング研究から構成される。以下に各々の計画を示す。

海域観測研究

東北沖地震震源域の周辺および房総半島沖において、自己浮上式の海底精密水圧計および海底地震計（広帯域地震計を含む）による観測を実施する。これら観測測器による観測期間は2年間とし、その設置と回収を平成26～30年の間、隔年繰り返し行うことにより、約5年間の連続した観測体制を維持する。これに加え、GPS音響結合方式海底地殻変動観測を実施するほか、整備が進められている海底ケーブル方式の日本海溝地震・津波観測網による観測とも連携して、なるべく広域かつ高密度な観測が行えるように配慮する。東北地方太平洋沖地震震源域周辺の観測からは、余効変動と固着回復過程との中で発生するプレート境界ならびに太平洋プレート内で発生する多様なすべり現象の規模および頻度の時空間的な分布を明らかし、房総半島沖スロースリップ現象などの大規模なイベントについてはすべり量の時空間発展の推定を行う。これとともに、地震観測データを用いて、各イベントの発生領域を特徴付ける地下構造を明らかにする。海底観測測器の観測期間の長期化により、繰り返し観測による准モニタリング的な観測が海域においても実施できるようになった。本研究計画では、積極的に機動観測測器によるモニタリング観測を行うことにより、これまで陸上観測網では捕捉することが困難であった、海域下のプレート境界で発生するすべりイベントの空間分布とともに、その時間変化の解明をめざすことが特徴である。対象域が、巨大地震発生直後の東北沖、あるいは繰り返し間隔が短いスロースリップ現象がみられる房総半島沖であり、5年間という短い期間でも、プレート間すべりの多様性やその時空間変動を観測によって捉えることが可能であると期待できる。

実験・モデリング研究

平成26年度は、深海掘削で得られた遠洋性泥質・珪質堆積物およびそれらを模した物質を試料として、日本海溝沈み込みプレート境界浅部（0～10 km）の深度に相当する温度・有効圧力下で透水・破壊・摩擦実験を行う。透水実験結果から、熱加圧（thermal pressurization）の発生可能性を評価する。破壊実験はプレートの沈み込み速度相当の短縮速度で行い、破壊速度の実験条件に対する依存性からスロースリップの発生条件を絞り込む。摩擦実験は、プレート沈み込み速度から地震時のすべり速度までの変位速度下で行う。さらに、これらの実験結果に基づいたモデリングにより、プレート境界断層の地震発生域上限付近の挙動を明らかにする。

次の3年間は、平成26年度と同じ堆積物・模擬物質に加え、沈み込みプレート境界原位置の温度・

圧力相当で変成作用を受けたと考えられる変成岩、およびプレート境界断層上盤側のウェッジマントル中に存在すると想定される蛇紋岩を試料として、日本海溝沈み込みプレート境界中深部(10~60 km)の深度に相当する温度と、試験機で達成可能な範囲の圧力および間隙水圧条件下で、透水・破壊・摩擦実験を行う。実験条件は観測により得られた構造モデルに基づいて絞り込みを行う。また、実験により得られた摩擦特性や水理学的特性を用いたモデル化を進め、東北地方太平洋沖地震が発生したメカニズムや地震発生域におけるプレート境界断層の多様なすべりを明らかにする。さらに、観測結果を反映させてモデルの改善を図る。

平成30年度は、変成岩および蛇紋岩試料を使用して、日本海溝沈み込みプレート境界深部(60~80 km)の深度に相当する温度と試験機で達成可能な範囲の圧力および間隙水圧条件下で、透水・破壊・摩擦実験を行う。また、これらの実験結果に基づいたモデリングによりプレート境界の地震発生域下限付近の断層の挙動を明らかにするとともに、東北地方太平洋沖地震の余効すべりや固着過程を再現し、観測結果と比較することでモデルの改善を図る。さらに、隣接地域のすべりや地震発生の再現を試みる。

(8) 平成28年度の成果の概要：

海域観測研究

海域観測研究では、2013年に長期観測型海底地震計を用いて、岩手県・宮城県沖において、約1年間のモニタリング観測を実施したことや2014年度から2018年度まで、科学研究費補助金(特別推進研究)「深海調査で迫るプレート境界浅部すべりの謎~その過去・現在」が採択されたことなどから、これらの観測と密接に連携して、モニタリング観測を実施することとした。また、海域観測には、利用可能な研究航海をできるだけ利用して、海底地震計・水圧計の設置回収作業を行うこととした。これらの方針に基づいて、本研究計画では、長期観測型海底地震計を中心に使用して、海底観測を実施する。また、東北沖地震震源域のモニタリング観測については、科研費の観測とも連携することとした。

本年度は、2014年に回収された東北沖地震の震源域北部における長期観測型海底地震計データの解析を引き続き行った。この観測は、東北沖地震発生約3年後の日本海溝より震源域の地震活動を把握することを目的としている。これまでに震源分布(図1)が得られており、地震活動の時空間的な変化が明らかになりつつある。2014年度から開始した長期観測型海底地震計による宮城県沖におけるモニタリング観測では、2016年5月と10月に回収および再設置を行い、観測を継続した。また、2015年6月には、岩手県及び青森県沖の日本海溝陸側斜面に設置した海底地震計の回収を実施し、長期海底地震観測を終了した。一方、2016年9月には、福島県沖の日本海溝陸側斜面に海底地震計を設置し、長期海底地震観測を開始した。

2014年10月に、科研費による観測として、宮城県沖の海溝付近に海底地震計アレイが設置された。本研究は、このアレイ観測とも連携して実施しており、2015年5月に海底地震計アレイを回収するとともに、観測を継続するために、アレイの中心位置に長期観測型海底地震計を設置して、観測を継続した。2015年10月から11月にかけて、長期観測型海底地震計の回収作業を行い、海底地震計アレイを再設置して、アレイ観測を再開した。宮城県沖の海底地震計アレイを、2016年9月から10月にかけて、回収すると同時に、観測規模を縮小し、海底地震計アレイを再設置した。また、2016年9月には、海底地震計アレイを福島沖に設置して、観測を開始した。宮城県沖の海溝軸近傍に設置された海底地震計アレイにおける2014年11月から2015年4月にかけてのデータを解析し、アレイに到来する波の到来方向を調べた。観測期間中において微動の活動は観測されなかったが、観測期間中に発生した東北沖浅部のM6.9の地震の発生後に陸上の観測では捉えられない特徴的な地震の活動が捉えられた。これらは通常の余震域とは異なる海溝軸近傍の領域で誘発された群発イベントであると考えられ、海域の地震活動検出における海底地震計アレイ観測の有用性を示した(図2)。

2012年から2016年5月までに実施した6回のGPS/音響方式海底地殻変動観測により、日本海溝近傍における2011年東北沖地震後の地殻変動を明らかにした(図3)。観測された地殻変動の変位速度ベクトルは、海溝沿いに南北で大きく異なることが明らかとなった。東北沖地震で大きな地震時す

べりがあった中部では粘弾性緩和による顕著な西向き変位が観測されるが、南部の広い範囲では逆に東向き変位が観測され、プレート境界線部で余効すべりが進行していることを示唆する。これに比べ、北部では地震後地殻変動による変位速度は非常に小さい。

2011年東北沖地震直前に発生した前震活動とそれと並行して進行した非地震性すべりについて、海底地震計および海底圧力計の観測データに基づいて解析を進めた。マッチングフィルター解析で検知された微小地震(Kato *et al.*, 2012)の震源を海底地震計のデータを用いて再決定することにより、3月9日の最大前震の発生を契機として、余震活動が本震の破壊の開始点に向って広がっていく過程が明瞭となった。

北緯39度付近の日本海溝陸側斜面で行った構造探査実験の解析を引き続き行った。これは、東北沖地震発生前の1996年と2001年に実施した構造探査実験と同一測線での構造探査実験を2013年と2014年に実施し、プレート境界の特性変化を抽出する目的である。東北沖地震前後において、ほぼ同じ記録断面を得ることができており、速度構造に大きな変化がないことが推定される。一方、プレート境界からの反射強度については、暫定的ではあるが、東北沖地震発生前に強度が強かった場所では発生後に強度が低下し、発生前に弱かった場所では発生後に強度が上がるといった傾向があるように見える結果となっている(図4)。

房総沖スロースリップ領域(図5)において、水圧計のデータ解析を進めた。2015年度では、観測点2点の差を取って海洋変動等を除去していたが、2016年度は、陸上のGNSSデータに用いられている解析方法を用いて変動の有無を調査した。その解析方法は、線形成分(機器トレンドと地殻の永年変動に対応)、1年と半年周期の周期成分(地殻の年周変動に対応)、対数成分(2011年東北沖地震の余効変動に対応)、ギャップ成分(スロースリップによる変動に対応)の4つの成分からなる関数をフィッティングするものである。その結果、水圧計による海底の上下変動は、各点において深さに換算して約1cmの精度で観測できることが示された。2013年12月から2014年1月の房総沖スロースリップに近い観測点(KAP3)で2cmを超える有意な隆起が認められ、スロースリップから遠い観測点(BOSO2)では有意な隆起はなかったことがわかった(図6)。この解析方法の開発によって、海底水圧計はセンチオーダーの変化を捉えられることができ、スロースリップのような小さな変化の観測にも有用であることが示された。

実験・モデリング研究

日本海溝プレート境界断層浅～中部の性質を理解するため、統合国際深海掘削計画第343次研究航海(JFAST)によって採取された日本海溝付近のプレート境界断層試料の高温高压摩擦実験を行い、プレート境界断層試料の摩擦特性が温度や変位速度によってどのように変化するか調べた。実験にはオランダコトレヒト大学の回転剪断試験機を使用し、有効圧50 MPa、間隙水圧50 MPa、温度20～200℃、変位速度0.3～100 μ m/sの条件で、摩擦すべりの安定性の指標である(a-b)値の温度・変位速度依存性を調べた。その結果、(a-b)値は、20～50℃では変位速度上昇に伴い負の比較的大きな値から0に近い値へと大きくなり、100～200℃では逆に正の比較的大きな値から0に近い値へと小さくなる傾向が認められた(図7)。また、(a-b)値は50～100℃でのみ0に近い負の値を取り、150℃以上では正となることがわかった(図7)。スロー地震は(a-b)値が負でかつ小さな値をとるような条件で発生しやすいと考えられているが、実験の結果50～100℃の温度でスロー地震が発生しやすい条件となることが明らかとなった。東北沖沈み込み帯の温度構造から、スロー地震の下限はおよそ150℃だと考えられており、本実験結果はこの観測結果とよい一致を示している。

層間陽イオンの異なるモンモリロナイト(Na型・K型)試料を用いて、温度25、150℃、間隙水圧10 MPa、有効垂直応力10～70 MPa、軸変位速度0.03～3 μ m/sの条件下で三軸摩擦実験を行い、(a-b)値の温度・圧力依存性を調べた。その結果、25℃では、Na型、K型モンモリロナイトともに(a-b)値は有効垂直応力の増加に伴って正の値から負の値へと変化し、有効垂直応力に対する明瞭な負の依存性が認められた(図8)。一方、150℃では、Na型モンモリロナイトの(a-b)値は有効垂直応力の増加に伴って0付近の値から少し大きくなる、有効垂直応力に対する弱い正の依存性を示すが、K型モン

モリロナイトの (a-b) 値は有効垂直応力によらず正の小さな値を示した (図 8) . この結果は , 温度上昇に伴ってデコルマのすべりの安定・不安定性が内部に存在する流体の組成に依存して変化する可能性を示唆している .

摩擦実験における変位速度急変時に現れる摩擦強度の変化を表す量 a や b は , 実験条件 (温度・圧力・変位速度など) に依存する . その様な複雑な挙動を表現可能な摩擦構成則を定式化した上で , 上述の日本海溝付近の JFAST 試料の摩擦実験から得られた摩擦の性質 , 及び実測された水理的性質と摩擦発熱による間隙水圧上昇を考慮した動的地震サイクルシミュレーションを行った . 平時の有効垂直応力分布に関してパラメータスタディをする事により , スーパーサイクル挙動 , 海溝まで達する巨大地震の頻度 , 深部のみの大震災の頻度 , 巨大地震時のすべり量と発熱量 , 長期的摩擦発熱量の全てにおいて観測結果とよく一致するケースを実現する事に成功した (図 9) . またこのモデルでは , 再浅部のみが cm/s 程度の速度ですべるイベントが確認できた .

2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域で , 前震による余効すべりと本震による高速すべりがオーバーラップしている領域が発見されたことに基づき , 天然のプレート境界における摩擦強度の変位速度依存性の実証的な評価を行い , インバージョン解析により求めた変位プロファイルから応力変化を計算するとともに , その結果を速度と応力変化の関係としてコンパイルした (図 10) . その結果 , 顕著な動的弱化現象が観察された (図 10) . この結果は , 従来の高速摩擦実験の結果 (例えば Di Toro *et al.*, 2011) とも調和的と言える .

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Abe, K., Hoshino, K., Sawai, M. and Kanagawa, K., Frictional properties of the Northern Shimanto Belt rocks at a seismogenic pressure and temperature condition. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS02-P15, 2016
- 阿部浩典・星野紘輝・澤井みち代・金川久一, 白亜系四万十帯構成岩類の震源域条件における摩擦特性, 日本地質学会第 123 年学術大会, R13-P-9, 2016.
- Ando, R., Fast Domain Partitioning Method for dynamic boundary integral equations applicable to non-planar faults dipping in 3-D elastic half-space, *Geophysical Journal International*, 207, 833-847, 2016
- 長谷川晟也・佐藤利典・河野昭博・寺田麻美・森大湧・塩原肇・八木健夫・山田知朗・篠原雅尚, 房総沖スロースリップ域での海底圧力計を用いた海底上下変動観測, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SCG59-P15, 2016.
- Hirono, T., Tsuda, K., Tanikawa, W., Ampuero, J. P., Shibazaki, B., Kinoshita, M. and Mori, J., Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from fault properties and conditions. *Scientific Reports*, 6, 28184, doi:10.1038/srep28184, 2016.
- Hirose, T., Hyoudou, G. and Saito, S., Frictional property of rocks in the Izu forearc: Implications for the Boso slow slip events, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SCG21-17, 2016
- Hoshino, K., Abe, K., Sawai, M. and Kanagawa, K., Frictional properties of the Nankai Trough accretionary mud samples collected from 1000-3000 mbsf at IODP Site C0002, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS02-11, 2016.
- 星野紘輝・阿部浩典・澤井みち代・金川久一, IODP 掘削地点 C0002 の海底下 1000 3000 m から採取された、南海トラフ付加体泥質堆積物試料の摩擦特性, 日本地質学会第 123 年学術大会, R13-O-14, 2016.
- Iinuma, T., R. Hino, N. Uchida, W. Nakamura, M. Kido, Y. Osada, and S. Miura, Seafloor observations indicate spatial separation of coseismic and postseismic slips in the 2011 Tohoku earthquake, *Nature Comm.*, 7, doi:10.1038/ncomms13506, 2016.
- Kanagawa, K., Hoshino, K., Abe, K. and Sawai, M., Frictional properties of the Nankai Trough accretionary mud samples collected from 1000?3000 mbsf at IODP Site C0002, American Geophysical Union 2016 Fall Meeting, T21C-2819, 2016

- Kubota, T., R. Hino, D. Inazu, Y. Ito, T. Iinuma, Y. Ohta, S. Suzuki, and K. Suzuki, Coseismic slip model of offshore moderate interplate earthquakes on March 9, 2011 in Tohoku using tsunami waveforms, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 458, 241-251, 2016.
- Mizoguchi, K. and Hirose, T., Transient water adsorption on newly formed fault gouge and its relation to frictional heating, *Geophysical Research Letters*, 43, 7921-7927, 2016.
- 野田博之・澤井みち代・芝崎文一郎，室内実験結果を用いた地震サイクルシミュレーション：日本海溝沈み込み帯と JFAST コア試料を例として，日本地質学会第 123 年学術大会, R12-O-10 (招待講演)，2016.
- Ohta K., Y. Ito, R. Hino, Y. Ohta, R. Azuma, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Sato, Y. Murai, Seismic observations using ocean bottom seismometer arrays offshore Miyagi, northeast Japan, *JpGU Annual Meeting, SSS02-P04*, 2016.
- 太田和晃, 伊藤喜宏, 日野亮太, 太田雄策, 東龍介, 篠原雅尚, 望月公廣, 佐藤利典, 村井芳夫, 宮城県沖における海底地震計アレイ観測, *日本地震学会 2016 年度秋季大会*, S04-01, 2016.
- 佐藤利典・長谷川晟也・河野昭博・塩原肇・八木健夫・山田知朗・篠原雅尚・碓氷典久, 海底圧力計を用いた房総沖スロースリップ域の上下変動の検出, *日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会*, S03-16, 2016.
- Sawai, M., Niemeijer, A. R., Plumper, O., Hirose, T. and Spiers, C. J., Nucleation of frictional instability caused by fluid pressurization in subducted blueschist, *Geophysical Research Letters*, 43, 2543-2551, 2016
- 篠原雅尚・山田知朗・望月公廣・悪原岳・仲谷幸浩・村井芳夫・平塚晋也・日野亮太・太田雄策・東龍介・佐藤利典・伊藤喜宏・中東和夫・武林仁樹・寺岡拓也・八木原寛, 長期観測型海底地震計を用いた 2011 年東北沖地震震源域北部における地震観測, *日本地球惑星科学連合 2016 年大会*, SSS02-22, 2016.
- Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. Burgmann, R. Hino, Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan, *Science*, 351, 488-492, doi: 10.1126/science.aad3108, 2016.
- Wada, J., Kanagawa, K., Kitajima, H., Takahashi, M., Inoue, A., Hirose, T., Ando, J. and Noda, H., Frictional strength of ground dolerite gouge at a wide range of slip rates, *Journal of Geophysical Research*, 121, 2961-2979, 2016.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

海域観測研究

- ・回収された東北沖地震の震源域北部における長期観測型海底地震計データの解析を引き続き実施し，東北沖地震発生後の地震活動の把握を行う．宮城県沖におけるモニタリング観測は，回収および設置作業を行い，観測を継続する．また岩手県及び青森県沖において実施した海底地震観測の解析を開始する．さらに，福島県沖の海溝付近における海底地震計観測を継続すると共に，データ解析を行う．
- ・東北沖地震震源域北端付近の構造探査実験の解析を引き続き行う．これにより，プレート境界付近の不均質構造を求める．
- ・房総半島沖における海底精密水圧計の観測を継続する．解析は，2016 年度に回収した水圧計のデータの解析を進める．

実験・モデリング研究

- ・日本海溝プレート境界の震源域に存在すると想定される藍閃石片岩試料について，震源域に相当する高温高压条件で摩擦実験を行い，震源域における岩石の摩擦特性を検討する．
- ・層間陽イオンの異なるスメクタイトガウジを用いた熱水条件下の摩擦実験を継続する．
- ・現実に観測された破壊過程をより忠実に再現できるよう，モデルの改良作業を継続する．

・東北沖地震前震域で観測的に明らかになった，応力変化の滑り速度依存性を考慮して，低速すべりから高速すべりへの遷移を再現するシミュレーションを実施する．

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海域観測班：篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日（東京大学地震研究所）・日野亮太・木戸元之・太田雄策・飯沼卓史（東北大学）・村井芳夫（北海道大学）・佐藤利典（千葉大学）・伊藤喜宏（京都大学）・八木原寛（鹿児島大学）

実験・モデリング班：金川久一（千葉大学）・矢部康男・武藤 潤（東北大学）・平内健一（静岡大学）・廣瀬丈洋・谷川 亘（海洋研究開発機構）・芝崎文一郎（建築研究所）・安藤亮輔（産業技術総合研究所）

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学・東北大学・千葉大学・静岡大学・京都大学・鹿児島大学・海洋研究開発機構・建築研究所・産業技術総合研究所（上記参加者による共同研究）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所 観測開発基盤センター

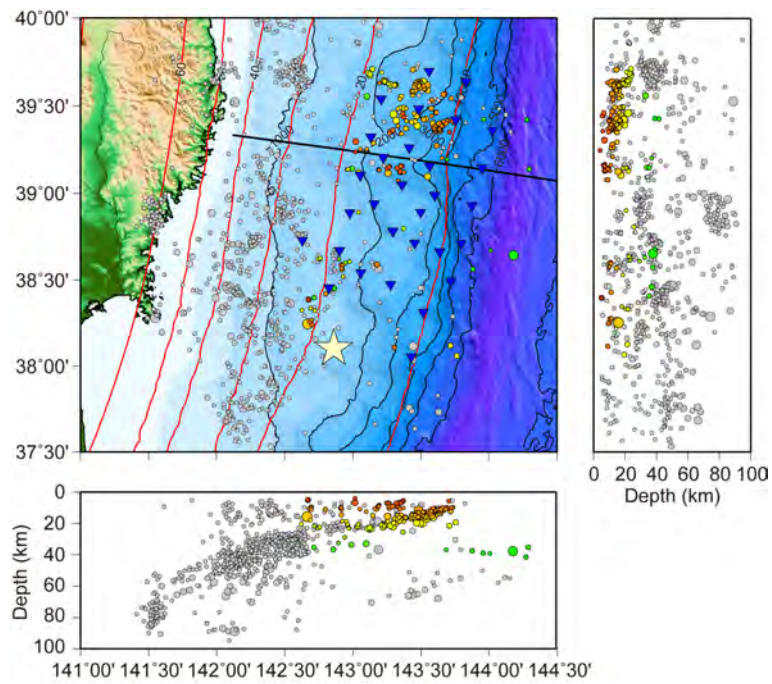


図 1 .

海底地震計観測網による 2013 年 9 月から 2014 年 9 月までの東北沖地震震源域北部における震源分布．逆三角は海底地震計の設置位置を示す．色は震源の深さを表す．また，灰色は 2011 年東北地方太平洋沖地震以前の海底地震計による震源．

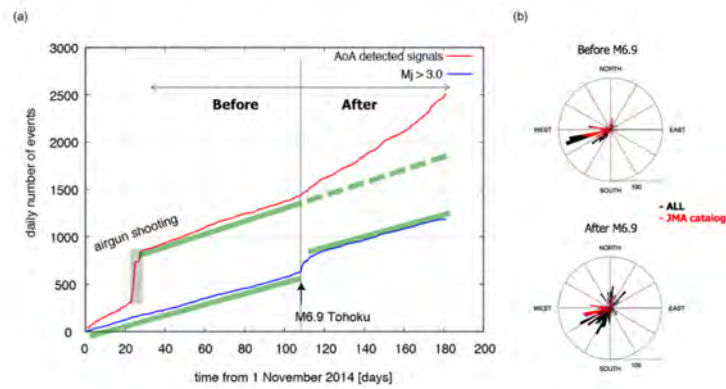


図 2 .

(a) AoA アレイで検出されたシグナルと気象庁カタログにおける M3.0 以上の近地震の発生数の累積頻度分布．
 (b) M6.9 イベントの前後における入射するシグナルの到来方向分布．

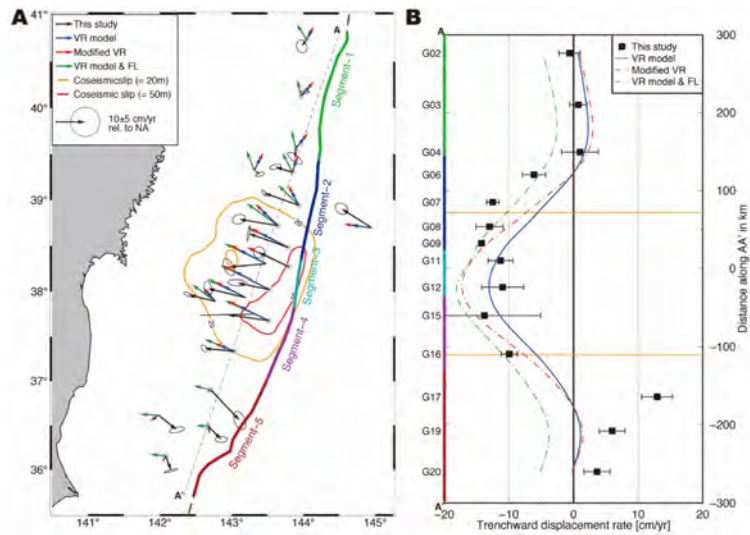


図 3 .

日本海溝近傍における 2011 年東北沖地震後の地殻変動 . A : 変位速度ベクトル . Inuma *et al.* (2012) による本震時すべりの等値線 (20m と 50m) とともに示す . B : 変位速度の海溝と直交する成分の南北変化 . Sun *et al.* (2014) による粘弾性緩和変形モデル (青) , 粘性係数を小さくしたモデル (赤) , 粘弾性緩和に加えてプレート境界全面での 100% 固着を仮定した場合 (緑) , のそれぞれにおける変位速度の計算値をあわせて示す .

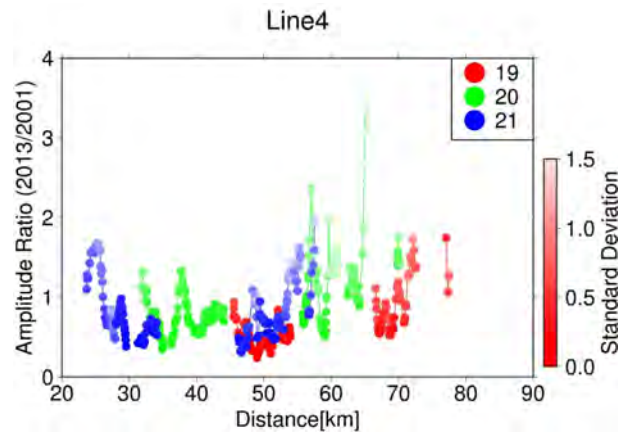


図 4 .

東北沖地震発生前後におけるプレート境界反射強度比の暫定的な解析結果 . 横軸は測線上の距離 , 縦軸は反射強度比を示す . 色は海底地震計 3 台 (19 , 20 , 21) の結果を示し , その濃淡はプロットされた値の標準偏差を表している (右にスケール) . 値が 1 のとき , 東北沖地震前後の反射強度が変化していないことを示し , 1 より小さい場所では地震後に強度が弱まったことを表す . 複数の海底地震計のデータがある場所では , 相互に調和的な値を示している .

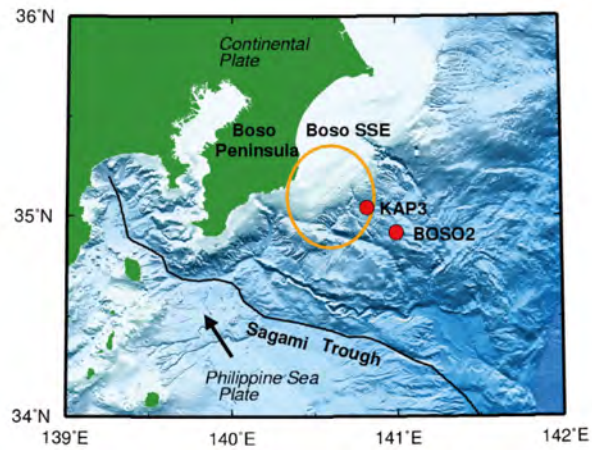


図 5 .
房総沖海底精密水圧計観測．赤丸が観測点，オレンジ円は房総スロースリップのすべり領域．

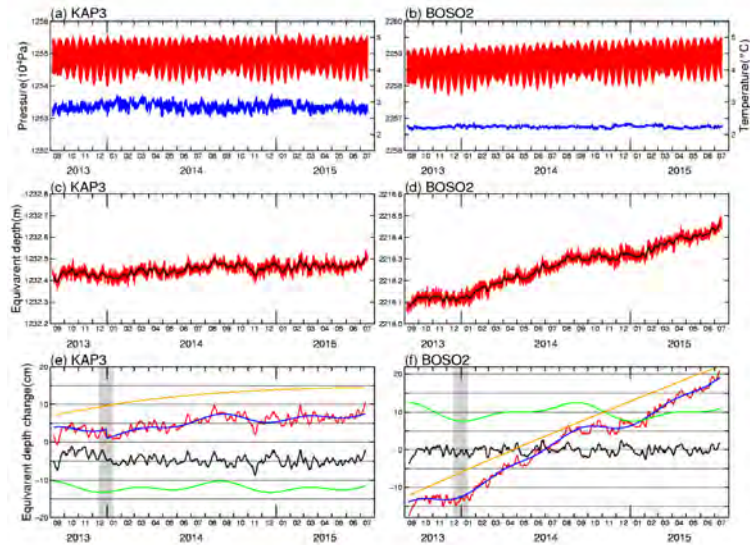


図 6 .
水圧計データの解析．(a) , (b) 観測された圧力 (赤) と温度 (青) . (c) (d) 潮汐成分と温度相関線分を除いたもの (赤) . 黒線は 7 日間の移動平均 . (e) , (f) フィッティング結果 . 赤線は 7 日間移動平均 , 青線は最適なフィッティング曲線 , オレンジ線は線形成分と対数成分 , 緑線は年周成分 . 黒線は 7 日間移動平均から線形 , 対数 , 年周成分を引いたもの . スロースリップ発生時 (グレー部分) KAP3 に変動がみられる .

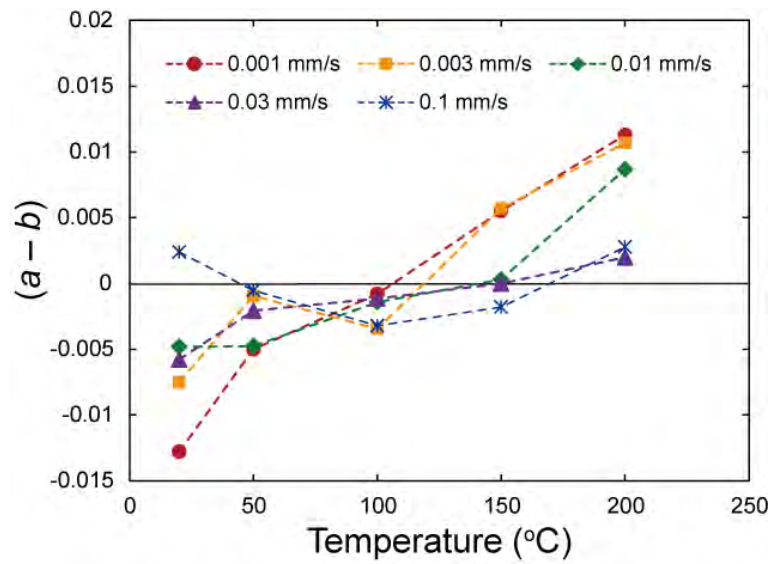


図 7 .

日本海溝プレート境界断層試料の (a-b) 値の温度依存性 . スロー地震が発生する条件である (a-b) 値が負でかつ小さな値が , 温度上昇に伴って 100 前後で現れている .

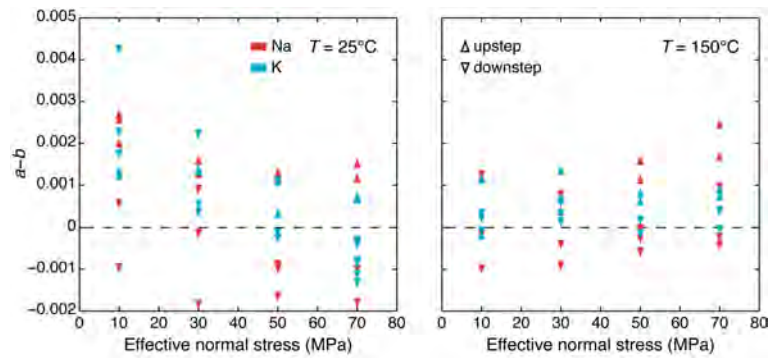


図 8 .

水に飽和した Na 型・K 型モンモリロナイトガウジの (a-b) 値と有効垂直応力の関係 .

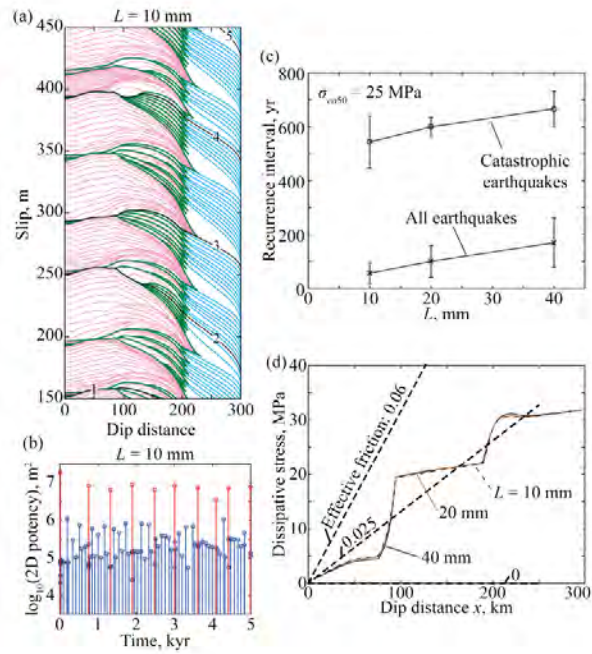


図 9 .

(a) 地震サイクルシミュレーションの結果．累積変位量を一定の時間間隔でプロットしている．浅部（横軸 100 km 程度まで）には JFAST 試料，深部（横軸 100 km から 200 km 程度まで）には藍閃石片岩試料，それぞれの摩擦特性を用い，浅部は摩擦発熱による間隙圧上昇の影響を組み込んでいる．黒：1000 年毎，青：50 年毎，ピンク：地震時 10 秒毎，緑：地震の初めと終わりのスナップショット．(b) (a) に示したケースの M-t 図．(c) 海溝まで達する巨大地震の再来周期と，深部のみを割る大地震の再来周期．摩擦の状態遷移すべり量に関するパラメータスタディの結果．(d) 長時間平均の摩擦発熱量に対応する剪断応力レベル．採用した有効垂直応力分布では，試した範囲の L の値によらず Gao and Wang (2013) の見積もり（有効摩擦係数 0.025）によく一致する．

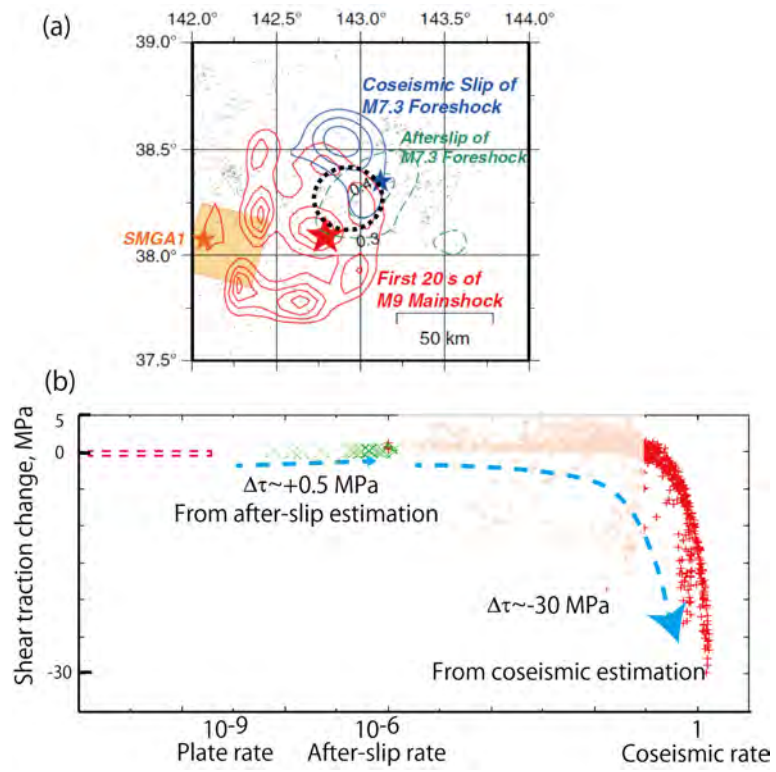


図 10 .

東北地方太平洋沖地震の震源域で推定した摩擦強度の変位速度依存性。(a) 解析領域．前震余効滑りと本震時滑りが共存する破線で囲った領域を対象とし，運動学的インバージョンで求められたすべりプロファイルを使用．(b) 解析により求めた変位速度と応力変化の関係．動的弱화가顕著に観察される．

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

内陸地震発生の理解と予測に向けて

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

これまでに内陸地震の研究は，各機関によって，それぞれの地域の特徴を活かした観測フィールドにおいて研究課題が提出され，実施されてきた。しかしながら，内陸地震の発生は，現象を支配する共通の物理メカニズムが存在すると考えられる。そのため，本研究では，それぞれのフィールドで得られた研究成果をもとに知見を合わせる中で内陸地震発生の現象の根幹を支配している物理を明らかにし，内陸地震の発生予測の進展を目指す。また，これまでの研究では，多くの研究課題の最終結果が現象の理解にとどまってしまうことが見られた。その反省をうけて，本課題では“日本列島広域統合コミュニティモデルの構築”を一つの柱として設定するとともに，各柱の中で予測に向けた研究観測を実施し，得られた結果を積極的に長期予測にどう生かせるかを明確にする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

内陸地震研究を 4 本の柱(地殻応答による断層への応力载荷過程の解明と予測，内陸地震発生の物理モデルの構築，日本列島広域統合コミュニティモデルの構築，地震・火山噴火発生場の解明

と地震火山相互作用の解明)で構成し、本計画の組織の中に上記関連課題の実施グループの責任者を中心に構成される研究推進委員会を組織する。本計画では、研究推進委員会を中心として、それぞれの研究課題間の連携を図り、成果の取り纏めと関連する分野に対する成果の活用を図るとともに、予測に向けた研究のかじ取りを行う。

(a) 研究成果の取り纏めと予測に向けた研究の推進

上記の4本の柱の研究の推進を図るとともに、それらの連携による内陸地震の発生メカニズムに対する定量的モデルの構築を目指す。広域統合モデル構築の成果と観測研究の成果に基づき、島弧内の広域変形、地殻・断層スケールの弾性/非弾性不均質構造、内陸地震域への応力蓄積・集中プロセスの定量的理解を深め、得られた研究成果の取り纏めと、予測に向けた研究推進のための検討を行う。

(b) 研究推進委員会や研究連絡会の開催

各課題の責任者によって構成される研究推進委員会を定期的開催し、各研究課題や関連する研究課題の連携およびこれらの研究の効果的な推進を図る。

平成 26 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・東北地方太平洋沖地震の地震時や余効変動に伴う地殻活動の把握を行うとともに、互いの観測計画の確認と研究の方向性に関しての議論と検討を行う。

平成 27 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・地殻流体と内陸地震との関係についての理解を深める。

- ・実験によるデータと地殻活動の観測データの比較検討から、地殻およびマントルの粘性・弾性・塑性についての理解を深める。

平成 28 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・さまざまな研究課題の成果をもとに、日本列島広域統合コミュニティモデルの構築に向けての議論をおこない、モデルを構築する。

- ・互いの観測・研究計画の確認と研究の方向性に関しての議論と検討を行う。

平成 29 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・日本列島広域統合コミュニティモデルによるシミュレーション結果と東北地方太平洋沖地震の地震時や余効変動に伴う地殻活動との比較検討を行い、コミュニティモデルの高度化を行う。

平成 30 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解し総括を行うとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・これまでのデータと解析結果をもとに、内陸地震の物理モデルの構築をおこなう。

- ・観測データとの比較検討より日本列島広域統合コミュニティモデルの改良を行う。

- ・関連する課題研究関係者による研究成果の総括と、長期地震活動予測についての総括を行いハザード予測貢献に関しての可能性の議論を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

内陸地震発生の理解と予測を目指し、内陸地震断層の理解とモデル化、東北地方太平洋沖地震の効果による地殻応答、コミュニティモデルの構築やモデルを用いたシミュレーション等の研究が関連する

各課題において行なわれた。それらの関係する課題責任者を含めた研究推進委員会をおこない、現状での理解と今後の方向性についての議論をおこなった。

現計画の内陸地震の研究においては、地殻応答が一つの主要なテーマとなっており、地殻応答の研究においては断層面上にどう力がかかるか応力の状態を知る必要がある。地殻応答の研究では、地殻・マントル構造の把握とそれに基づくシミュレーション等の研究がなされてきた。その結果、3次元の不均質構造の考慮が必要であると考えられるようになった。また、応力場だけでなく強度分布についても把握していくことが大切であると考えられる。そのためには、地殻強度に大きな影響を及ぼす地殻流体の影響や、下部地殻の粘弾性応答の影響を明らかにしていくことが重要であることがわかってきた。また、観測等で得られる描像は現在のスナップショットでしかないので、時間軸を考えたモデル化が重要である。

2011年東北地方太平洋沖地震の発生から5年以上が経過しても、東北地方内陸での誘発地震活動は依然として継続しているが、活動には時空間変化がある。この変化は誘発地震活動の原因を探る上での重要な情報となる可能性があるため、課題番号1101や1203を中心に誘発地震活動の時空間変化が調べられている。

この計画から始められたコミュニティモデルの作成においても多くの問題点が挙げられた。コミュニティモデルはいくつかのモデルから進化していくべきものである。しかし、目的によって必要なモデルが異なり、現実問題として複数のモデルを作るのは困難であり、モデルにおける精度に関する問題は大きいことが挙げられた。また、コミュニティモデルは、データに準拠し生データに戻れることが重要であり、成果が出た際の情報発信までも含めた研究計画となっていることが大切である。また、モデルの維持やアップデートに関しても考える必要がある。このように、コミュニティモデルの問題点や今後の方針が明らかになってきた。今後の方針としてはプレート境界からの力を把握し、今の地殻活動を説明するとともに、断層を置き過去の地震の説明ができるよう進めていきたい。また、どこまで言えるかについて明らかにするとともに、シミュレーションから他の研究へのフィードバックが重要であることが指摘された。

そのようななかで、課題番号1505では、日本列島及びその周辺域のMoho面形状のモデル化のため、日本列島直下で提出されているモホ面構造と、広域的なモホ面構造(Crust 1.0(Laske et al., 2012))を接続したモデルが試作された。また、モデルの作成においては、リソスフェア・アセノスフェア境界(LAB)の決定が重要であり、LABのモデル作成をめざした情報収集が引き続き実施されている。日本列島下の岩石モデルの構築を目的として、西南日本列島下の地殻構成岩石に関する初期モデルの検討がなされている。

物質科学に関する研究課題では、地球物理的なデータが出てきた際にその解釈ができるようになってきた。また、電磁気学的研究においても、地震波トモグラフィとの比較ができるようになってきた。今後はレオロジーモデルの構築に向けて研究を進める必要がある。これらの研究が進み理解が進んでも、ハザードにどうつなげるかの道筋を明確にすることが必要であることが確認された。

活断層の分布や内陸大地震、また定常的な地震活動がどのような物理的要因によって支配されているかを明らかにするために研究がすすめられた。そこで、御嶽山周辺域の地震活動を中心に、火山活動と応力場の変化が調べられており、その関連性が議論できるようになってきた(課題番号1907)。注水による断層周辺の活動の変化についての研究もなされ、注水実験(540m深度)での地下水観測データの再解析や注水実験(540m、1800m深度)での自然電位データの再検討、アクロス連続運転による野島断層近傍の地震波伝播特性の測定等も行われた(課題番号1906)。

断層のモデル化の研究では、速度構造や比抵抗構造など多くの物理量を把握し、日本列島全体に物理定数を入力できるようなモデルを作る必要がある。今後は、プレート境界での変位速度と日本列島にかかる応力や歪との関係が説明でき、過去の地震の発生を復元できるようなモデルを作成していかなければならない。そのためには、全体の方針としてレオロジーモデルを作成し、応力の変化を検出して、震源断層やプレート境界への応力状態を明らかにする必要があることが確認された。いつまでに何が起こるかの予測ができることが重要であり、最終的にはその精度を上げていくことが重要であ

るが、まず現状での理解をもとに予備的なモデルを作成し、予測をしていくことが重要であることが確認された。また、観測点を密にしても地震波トモグラフィだけでは限界があるため、震源分布やメカニズム解など多くの項目で多角的・間接的な観点からも見ていく必要があることがわかってきた。さらに、個別の断層の構造を知るだけでは十分でなく、全体の構造とその断層の位置づけを知る必要がある。さらに、スタティックな理解だけでは不十分であり、強度の時間変化を知る必要があることが議論された。

地震・火山の相互作用の研究では、九州地方などを中心に比抵抗分布がわかってきた。地震があまり発生していない地域のデータも取得するので、今後は流体との関係を明らかにできるものと考えている。また、過去のデータも集めて研究を進めていくことが必要であることが確認された。

このように、関連する課題の成果をもとに、内陸地震の理解と発生の予測のための理解が進むとともに今後の方針が明確になった。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Iidaka, T. Y., Hiramatsu, The Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, Heterogeneous mantle anisotropy and fluid upwelling: Implication for generation of the 1891 Nobi earthquake, 2016. Earth, Planets and Space, 2016 68: 164, DOI: 10.1186/s40623-016-0540-z.

磯部 渉, 稠密アレイを用いたレシーバ関数解析による東北南部前弧域の地殻・マントル構造の研究, 東京大学修士論文, 2017

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

・関連する課題責任者による研究推進委員会を年 2 回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

・日本列島広域統合コミュニティモデルによるシミュレーション結果と東北地方太平洋沖地震の地震時や余効変動に伴う地殻活動との比較検討を行い、コミュニティモデルの高度化を行う。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所(岩崎貴哉, 平田直, 佐藤比呂志, 小原一成, 上嶋誠, 飯高隆, 酒井慎一, 蔵下英司, 石山達也, 五十嵐俊博, 福田 淳一, 小河勉)

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学・弘前大学・東北大学・茨城大学・千葉大学・東海大学・名古屋大学・京都大学防災研究所・金沢大学・九州大学・鹿児島大学・防災科学研究所

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

- (13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 飯高 隆

所属 : 東京大学地震研究所・地震火山噴火予知研究推進センター

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

日本列島基本構造モデルの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

東北地方太平洋沖地震は、日本列島の沈み込みシステムに大規模な影響を与えており、この巨大地震によって引き起こされるプレート境界及び島弧内陸域の地殻活動を定量的に明らかにしていくことは、喫緊の重要な課題となっている。近年、詳細な地震観測網の整備や解析方法の進展、大規模な制御震源による地殻構造探査によって、日本列島の沈み込みシステムの基本構造についての知見は著しく増加した。しかしながら、これらの情報が組織的・統一的に集約され統合的な共通モデルが構築されているわけではない。日本列島の基本構造についてのコミュニティ・モデルの構築とそれらの更新は、日本列島の地殻活動予測にとって本質的に重要であり、現状の活動を把握し、今後の観測を合理的に進めていくためも欠かせないものである。東北太平洋沖地震に関して言えば、プレート境界をこれまでの研究成果から可能な限り正確に定義し、その面上での運動(地震時滑り及び余効滑り)による島弧域の弾性的/粘性的変位・歪・応力を計算し、現在進行中の地殻活動との比較によってプレート境界及び島弧域のモデルの妥当性を検証し、地殻活動の背景となる物理的メカニズムの理解につながるであろう。また、島弧域の広域応力の蓄積過程がある程度定量化できれば、島弧内の構造モデルをより精緻化し、更に列島内に分布する断層をモデル化することによって内陸地震活動の理解にも大きく貢献することができる。

本課題は、こうしたコミュニティ・モデルを構築し、これらを共有し、更新していくことにより、地殻活動予測、巨大地震発生にいたるプロセスの定量的な理解など、火山噴火予測を含む多様な地殻活

動についての定量的な理解を深めようとするものである。日本列島は、千島弧・東北本弧・西南日本弧・琉球弧・伊豆小笠原弧から成り、各々の島弧下で進行しているプレート沈み込みが複雑な相互作用を及ぼしあっている。従って、これらの領域を広範に覆う領域でのモデル化が必要である。特に東北地方太平洋沖地震後の地殻変動・地震活動現象等を支配する歪み・応力状態の定量的評価に必要な項目を含むものとし、ジオダイナミクス・被害地震の発生評価などを考慮し、統合モデルは以下の6要素を表現するものとなる。

(1) 地形、(2) 沈み込みプレート境界、(3) モホ面、地殻内脆性/延性境界 (eg. D90)、(4) 震源断層の形状、(5) リソスフェア・アセノスフェア境界、(6) 日本列島下のマントルおよび地殻のレオロジー

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本提案は、既往の成果を可能な限り収集・整理し、(6)で挙げた6つの要素についてのデジタルモデル (grid データ) を構築していくものである。従って、研究というより地道な実作業という色彩が濃い。本研究で対象とする要素の中の地形及びプレート境界についてモデル化がかなりの程度進んでおり、5ヶ年計画の初期の段階で整備する。また、モホ面・脆性/延性境界、震源断層については、現在も調査・研究が進行しており、その成果を随時取り込みながら、5ヶ年かけて実施する。また、リソスフェア・アセノスフェア境界、日本列島下のマントルおよび地殻のレオロジーについては、境界の位置や物性値そのものについても不明な点も多く残されている。これらについては、その直接的(実験的)/間接的な推定方法の開発も含め、研究的要素が強い。5ヶ年計画の前半では関係研究者による集会を通じて最新の知見を集約し、後半で実験/実作業を行うこととしたい。表1に5ヶ年計画の概要を示し、モデル化の手順の要約する。

(1) 地形・海溝軸モデルの構築 (H26年度)：対象域における地形データを統合する。更にモデルとしての海溝軸を定義する。(H26年度)。

(2) プレート境界モデルの構築 (H26-27年度)：これまでの制御震源探査・tomography 解析・高精度震源分布に基づき、Pacific Plate 及び Philippine Sea Plate 境界を定義する。

(3) 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築 (H26-30)：これまでの制御震源構造探査・変動地形的調査等に基づき、震源断層の位置・形状のモデル化を図る

(4) 日本列島下のモホ面及び脆性・延性域境界モデルの構築 (H27-30)：これまでの制御震源探査・tomography 解析・高精度震源分布に基づき、日本列島下のモホ面及び脆性・延性域境界モデルの構築のモデル化を図る。

(5) リソスフェア・アセノスフェア境界の構築 (H26-30)：広域・深部 tomography・これまでの地殻変動シミュレーションの結果を踏まえ、日本列島周辺のリソスフェア・アセノスフェア境界及びその粘性的構造を推定する。

(6) 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築 (H26-H30)：これまでの制御震源探査・tomography 解析から得られた地震波速度構造・比抵抗構造を組み合わせ、まず島弧スケールにおける岩石モデルを構築する。構成岩石の推定は、室内での高温・高圧下での弾性波速度の測定結果との比較によって行う。高温変形試験を行い、岩石の粘性についての基礎資料を直接的に得る。日本列島下の温度構造についての知見を加え、レオロジー構造を推定する。

尚、ここで想定しているモデルでは、観測されている細かい形状変化などが、報告されている場合は、それらを反映したものとし、数値計算に必要なスムージングなどについては、初期モデルでは実施しない、いわば観測寄りの統合モデルを想定する。

(8) 平成28年度の成果の概要：

近年、詳細な地震観測網の整備による高精度震源分布や大規模な制御震源による地殻構造探査や tomography, RF 解析等によって、日本列島の沈み込みシステムの基本構造についての知見が著しく増加した。しかしながら、これらの情報が組織的・統一的に集約され統合的な共通モデルが構築されているわけではない。日本列島の基本構造に対するコミュニティ・モデルの構築とそれらの更新は、日

本列島の活動予測にとって本質的に重要であり、現状を把握し、今後の観測を合理的に進めていくためにも欠かせないものである。本研究は、既往の成果を可能な限り収集・整理し、下記の6つの要素についての基本構造デジタルモデル（gridデータ）を構築していくものである。

- (1) 地形・海溝軸モデルの構築
- (2) プレート境界モデルの構築
- (3) 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築
- (4) 日本列島下のモホ面及び脆性・延性域境界モデルの構築
- (5) リソスフェア・アセノスフェア境界の構築
- (6) 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築

1. 地形・海溝軸モデルの構築

昨年度から継続して実施しているモホ面モデルでは、各プレート境界を明確に特定、数値化する必要がある。本年度は、フィリピン海プレート西縁部の Manila trench 及び Philippine trench model を海底地形データから求めた。

2. プレート境界モデルの構築

日本列島周辺域プレート境界モデル (Regional Model) の修正

日本列島周辺においては、様々な地球物理的観測・解析が行われており、上記の広域モデルより高精度のプレート境界位置が求められている。前年度までに、当該範囲における構造探査・tomography 解析等の既往成果 (59 論文) をコンパイルし、自然地震に基づく広域モデル (base model) を修正する形でプレート境界モデル (regional model) を構築した。本年度は、特にフィリピン海プレート東部に焦点を当て、既往の探査データ、tomography の結果を再吟味して、太平洋プレート接合部までの形状モデルの試作を行った。

3. 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築

日本列島及びその周辺域の Moho 面形状のモデル化のため、日本列島直下で提出されているモホ面構造と、広域的なモホ面構造 (Crust 1.0 (Laske et al., 2012)) を接続したモデルを試作した。更に High-net による地震波トモグラフィーの成果を用いて、地殻下部から上部マントルの地震波速度の変化について検討した。その結果、P 波速度の 7.2 km/s が、P 波速度の変化が大きく、かつ制御震源によるモホ面とよく一致することが明らかになった。このため Moho 面に類似した構造として、7.2 km/s の等しい速度面を用いることにした (図 1)。また、九州地域の震源断層モデル (図 2) を作成するとともに、既存の地下構造データを基に、関東地域の震源断層モデルを更新した (図 3)。

4. リソスフェア・アセノスフェア境界の構築

日本海におけるリソスフェア・アセノスフェア境界 (LAB) モデルをめざした情報収集を引き続き実施した。2001 年から 2004 年にかけて、日本海大和海盆で実施された広帯域海底地震計による長期地震観測では、深部構造が求められている。また、2013 年から、文部科学省委託研究により、同じく大和海盆で、LAB を求めるための長期広帯域海底地震観測が実施されている。本年度は、2015 年に大和海盆に設置した長期観測型海底地震計の回収作業が実施され、大和海盆における観測を終了した。解析の暫定的な結果では、実体波トモグラフィーにより、大和海盆南部において、深さ約 65km から、約 90km までの低速度域がイメージされた。レシーバー関数解析からは、深さ 70km 程度から深部を低速度とする構造が観測波形を比較的良く説明する。今後解析を継続する予定である。

5. 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築

日本列島下の岩石モデルの構築を目的として、西南日本列島下の地殻構成岩石に関する初期モデルを検討した。九州北部の唐津湾の高島と玄界灘の黒瀬にはそれぞれ 300 万年前と 110 万年前のアルカリ玄武岩火成活動に伴う苦鉄質・超苦鉄質捕獲岩が産している。本研究では捕獲岩を実験試料として P 波速度 (V_p) と S 波速度 (V_s) を測定している。例えば、高島産かんらん岩は、20 \cdot 1.0GPa で $V_p=8.0\text{km/s}$ 、 $V_s=4.6\text{km/s}$ 、 $V_p/V_s=1.74$ という実験結果を得た。高島かんらん岩や黒瀬かんらん岩の V_p 、 V_s 、 V_p/V_s は福岡市・博多湾の深さ 40km の地震波トモグラフィーと調和的であり、最上部マントルはかんらん岩で構成されることが推定される。しかし、広域的に見ると九州北部の最上部マントル (深さ 40km)

の地震波トモグラフィは不均質である(図4)。北九州・宗像・直方では low- V_p で特徴付けられ、高島や黒瀬に産するかんらん岩の弾性波速度と比較して明らかに低い。最上部マントルの low- V_p はパイロキシナイトの弾性波速度で説明可能であり、新生代アルカリ玄武岩活動の痕跡かもしれない。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Freed, A.M., Hashima, A., Becker, T.W., Okaya, D.A., Sato, H., Hatanaka, Y.: Resolving depth-dependent subduction zone viscosity and afterslip from postseismic displacements following the 2011 Tohoku-oki, Japan Earthquake, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.459, pp.279-290, 2017.

Hashima, A., Becker, T.W., Freed, A.M., Sato, H., Okaya, D.A.: Coseismic deformation due to the 2011 Tohoku earthquake: influence of 3-D elastic structure around Japan, *Earth, Planets and Space*, Vol.68, pp.DOI: 10.1186/s40623-016-0535-9, 2016.

Hashima, A., H. Sato, and T. Ishiyama, Simulation for Inland Stress accumulation due to Interseismic Coupling in the Southwest Japan Arc, AGU fall meeting, 2016.

Hashima, A., T.W. Becker, A.M. Freed, H. Sato, D.A. Okaya, H. Suito, H. Yarai, T. Ishiyama, and T. Iwasaki, Near-field and far-field effects of elastic structure on coseismic deformation of the 2011 Tohoku earthquake, Japan, European Geosciences Union General Assembly 2016, 2016.

橋間昭徳・T.W. Becker・A.M. Freed・佐藤比呂志・D.A. Okaya・水藤尚・矢来博司・松原誠・武田哲也・石山達也・岩崎貴哉, 粘弾性と余効すべりを考慮した 2011 年東北沖地震による関東地方の応力変化モデル, 日本地球惑星科学連合 連合大会 2016 年大会, 2016.

橋間昭徳・A.M. Freed・T.W. Becker・佐藤比呂志・D.A. Okaya・畑中雄樹, 2011 年東北沖地震後の地殻変動データを用いた粘性構造と余効すべりの推定, 第 212 回地震予知連絡会, 2016.

石川正弘, 谷健一郎, 桑谷立, 金丸龍夫, 小林 健太 (2016) 丹沢山地の地質: 伊豆衝突帯のジオダイナミクス. *地質学雑誌* 122, 291-304.

Ishikawa, M. (2016) Crustal and uppermost mantle lithology of the NE Japan arc from comparison with the measured and calculated rock velocity and observed seismic velocity. International Symposium on Geofluid3, 2016 年 3 月 (招待講演)

Iwasaki, T., Sato, H., Shinohara, M., T. Ishiyama & A. Hashima, 2016. Fundamental structure model of island arcs and subducted plates in and around Japan, 17-th SEISMIX International Symposium (International Symposium on Multi-scale Seismic Imaging of the Earth's crust and Upper Mantle), Aviemore, Scotland, May. 15-20.

岩崎 貴哉・佐藤 比呂志・篠原 雅尚・石山 達也・橋間 昭徳・程塚 保行・雨宮 由美, 2016. 日本列島基本構造モデルの構築-海溝軸・プレート境界モデル-, 日本地球惑星科学連合 2016 大会, 幕張メッセ, 5 月 22 日~26 日, SCG63-25, 日本地球惑星科学連合.

Matsubara, M., H. Sato, T. Ishiyama, A. Van Horne, Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, *Tectonophysics*, in press.

中東和夫・山下裕亮・山田知朗・望月公廣・塩原肇・篠原雅尚, 日本海大和海盆下の上部マントル構造, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, S07-P04, 2016

Nakahigashi, K., Y. Yamashita, T. Yamada, K. Mochizuki, H. Shiobara, M. Shinohara, Mantle wedge structure beneath the Yamato Basin, southern part of the Japan Sea revealed by long-term seafloor seismic observations, 2016 American Geophysical Union Fall meeting, T31D-2933

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

プレート構造モデルについては、補間手法等処理 program の一層の向上を行い、広く公開するための準備を行う。また、モデリングの中心をプレート境界から島弧に移し、島弧内構造モデルの構築を本格的に実施する。即ち、今年度までに収集した Moho 面及びコンラッド面形状の他に新たなる成果を取り入れ、島弧下のより高精度の 3 次元的構造モデルの策定を目指す。また、中国・近畿地域の地殻

内震源断層モデルの構築を行う。

日本海におけるリソスフェア・アセノスフェア境界 (LAB) モデルをめざした情報収集を引き続き実施する。平成 29 年度から、文部科学省委託研究により、日本海盆において、広帯域海底地震計による長期地震観測が開始される予定である。また、これまでに得られているデータを用いた LAB モデルを用いた解析を継続する。

日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築においては、日本列島下の岩石モデルの構築を目的として、まず、実験および計算から得た岩石の弾性波速度をもとに、地殻構造との対比から、地殻構成岩石モデルを検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐藤 比呂志・岩崎 貴哉・石山 達也・篠原 雅尚

他機関との共同研究の有無：有

参加人数：20 名。

参加機関：防災科学技術研究所・国土地理院・海上保安庁・海洋研究開発機構・岩手大学・東北大学・新潟大学・愛知教育大学・中部大学・京都大学。

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岩崎 貴哉・佐藤 比呂志

所属：東京大学地震研究所

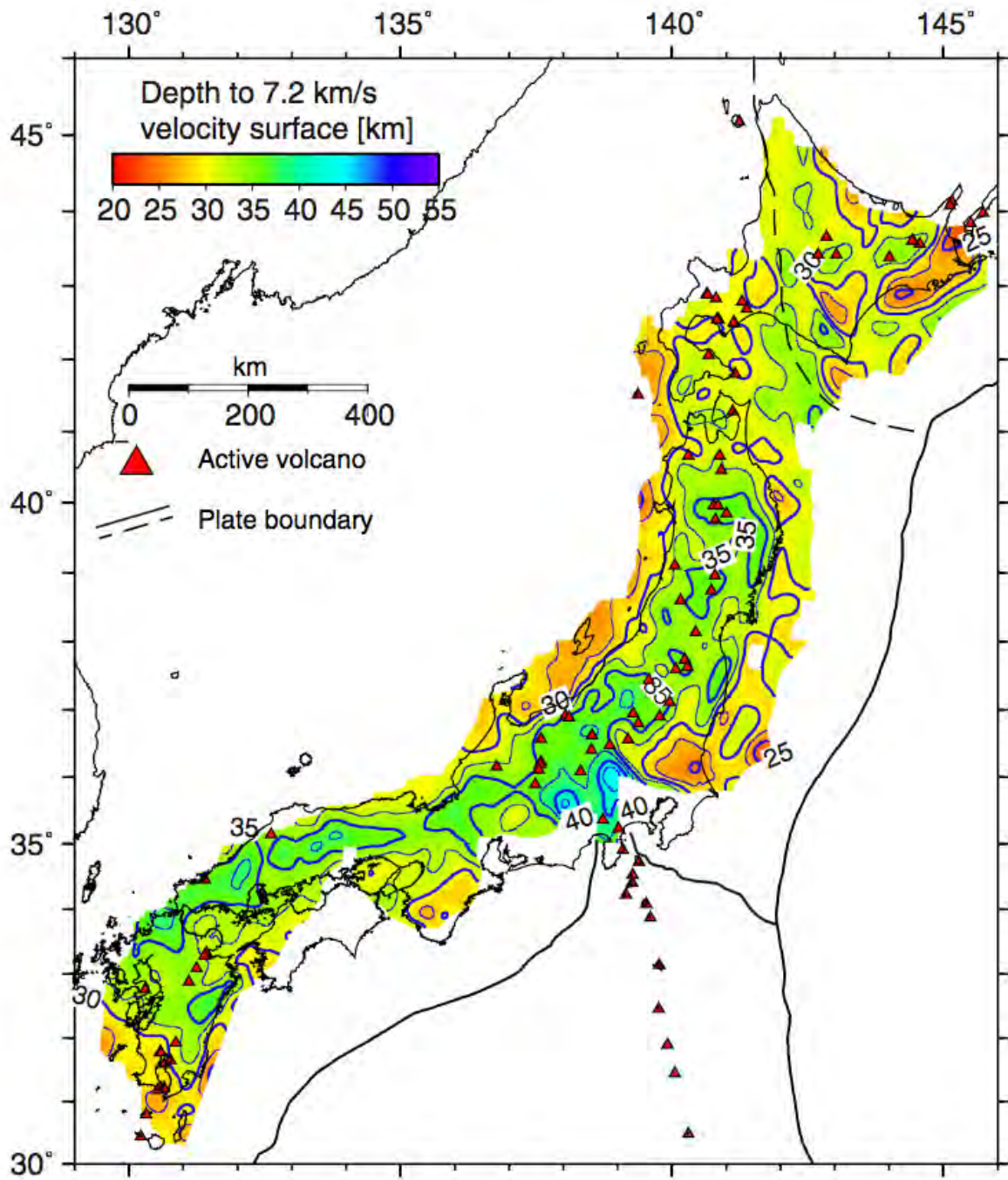


図 1. 日本列島の Moho 面深度図 (V_p 7.2 km/s の等速度面として近似, Matsubara et al., in press).

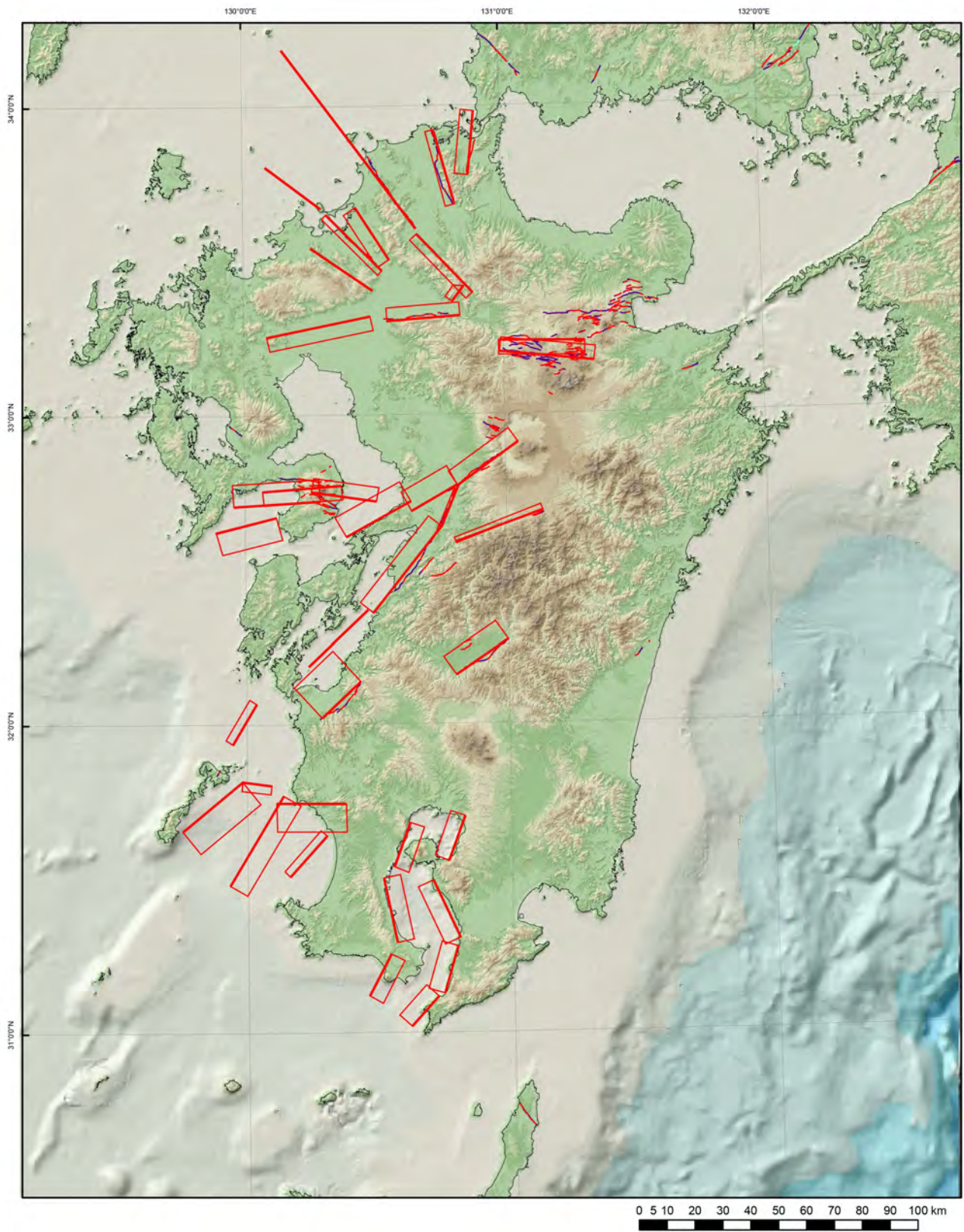


図 2. 九州地域の震源断層モデル .

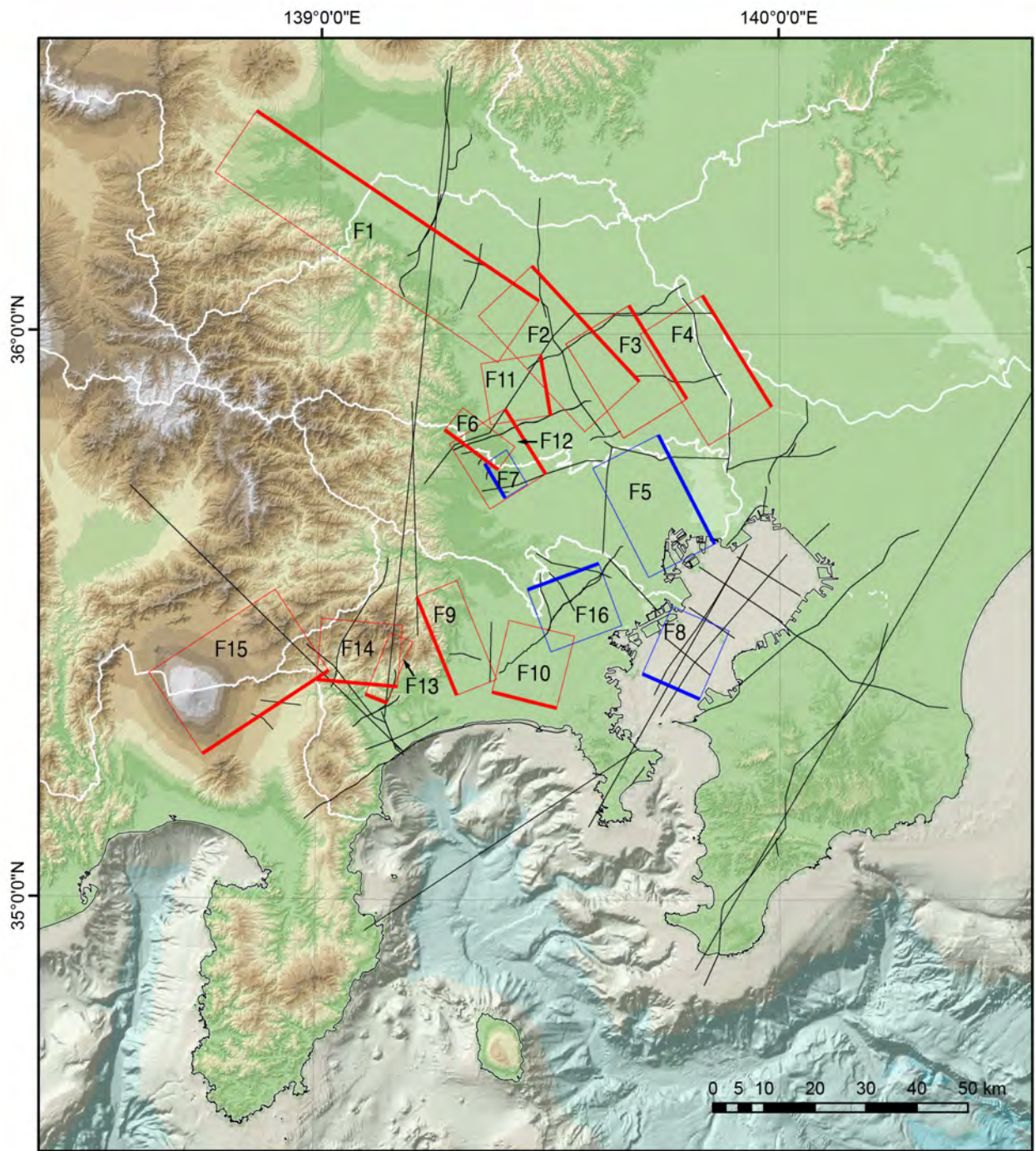


図 3. 関東地域の震源断層モデル .

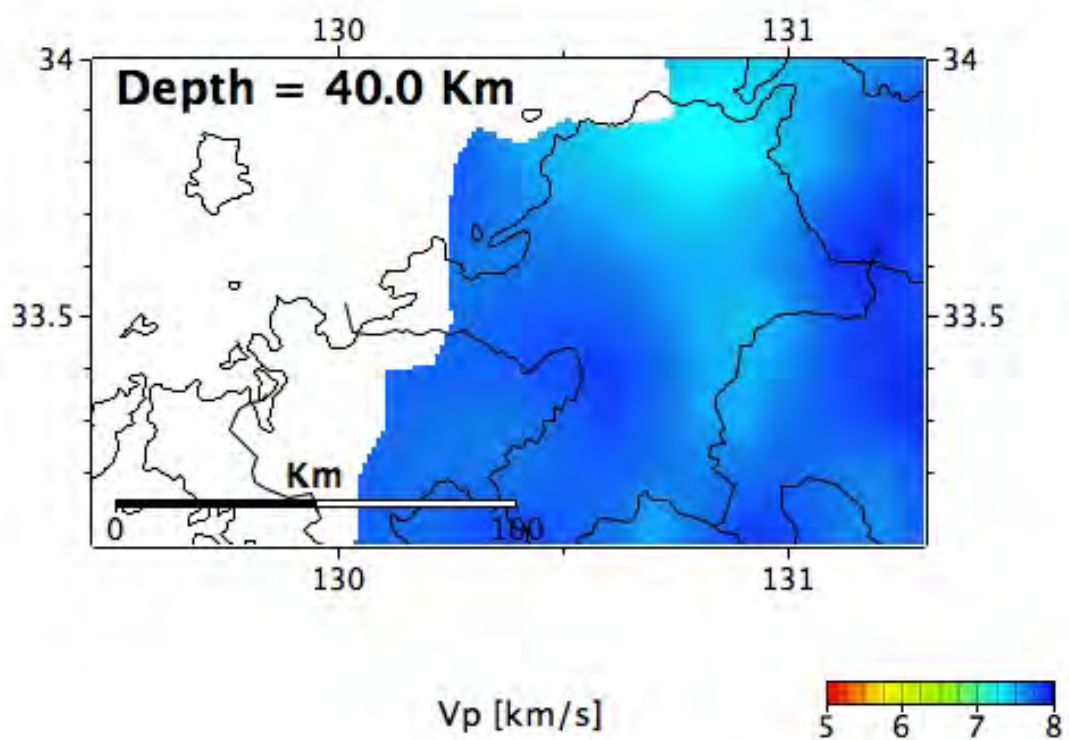


図 4. Tomography 解析による九州北部域の速度構造．防災科学技術研究所の日本列島下の三次元地震波速度構造 (Matsubara and Obara, 2008) を用いて作成.

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

小型絶対重力計を用いた火山監視技術の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

マグマ噴火を主体とする火山において、その活動を予測するためにはマグマの動きを監視する技術が不可欠である。重力観測はマグマ移動に伴う密度変化に感度をもち、GPS など地表変位の観測と相補的に地下深部の情報を引き出すことができる。これまで絶対重力計と相対重力計を組み合わせたハイブリッド重力観測により、火山活動に伴う重力変化が観測されているが、本課題では小型絶対重力計を用いて火口の近傍で精度の高い重力観測を行い、マグマ活動を監視する技術を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」で開発された小型プロトタイプ絶対重力計を用いた試験観測による実用性の向上と並行して、装置のさらなる小型化と火口近傍での観測技術開発をすすめる。重力以外の観測とも組み合わせ、5 年程度の期間で絶対重力による火山監視技術を開発する。平成 26 年度においては、小型プロトタイプによる試験観測、および光源の小型化を行う。平成 27 年度においては、小型光源の組み込み、および小型落下機構の導入を行う。平成 28 年度においては、新型プロトタイプ(小型光源・落下機構)による試験観測、および山体設置法の研究を行う。平成 29 年度においては、新型プロトタイプの火山体における試験観測、およびデータ通信試験を行う。

平成30年度においては、火口近傍での観測実証試験(1年程度)を行う。

(8) 平成28年度の成果の概要:

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」において、マグマなど火山流体の移動を重力変化によって検知するための小型絶対重力計を開発した。計測の誤差となる地面振動を補正するための組み込み加速度計や計測に使用する落体の回転を抑えるサイレントドロップ法により、開発した絶対重力計プロトタイプ TAG-1 は市販品の70%程度のサイズとなった。火山地帯を含む複数の観測点で性能評価を行った結果、既存の絶対重力計と同等の1 μ Gal 以内の精度を確認した。一方、絶対値については過去の測定結果と比べて20 μ Gal 程度の低下が認められた。その間、GPSデータによると地殻変動は顕著でなかったため、測定結果は装置の系統誤差による可能性があった。

本年度は、TAG-1 の系統誤差の評価のため、石岡測地観測局(国土地理院、茨城県石岡市)における絶対重力計FG5 との比較観測に参加した。その結果、30~50 μ Gal の差異が認められた。参照マスの自由落下時の反作用など複数の要因について検討し、継続して解析を進めている。

また、火山において複数の絶対重力計を設置し観測網を構築することを想定し、通信波長帯の光源(波長1550nm帯)を用いた絶対重力計の動作検証を行った。従来の可視光光源(He-Neレーザー)は光ファイバーで伝送できる距離が短いため、装置毎に光源が必要になる。一方、通信波長帯では光ファイバーでの損失が極めて少なく、波長安定性を維持したまま光強度を増幅することも可能で、長距離伝送する技術が確立している。そのため、絶対重力測定の基本となる1台の波長安定化光源を光ファイバーで各観測点の装置に分配し計測することができる。

TAG-1 の光学素子を通信波長帯のものに交換したユニットを作成し、光源は東北大・電気通信研究所で開発されたアセチレン安定化ファイバーレーザーを用いて同研究所実験室において重力値を計測した(図1、図2)。同じ場所で従来のHe-Neレーザーによる計測も実施し、誤差の範囲内で整合する計測値を得た。

重力計本体に関しては、TAG-1 をさらに小型化し、実用性を高めた新型プロトタイプの開発をメーカーと共同で進めている(図3)。

このように、山体における観測網構築を見据え、通信波長帯小型光源と落下機構による試験観測を当初計画に沿って実施したが、山体設置法に関しての実地試験等は本年は見送り次年度に実施する予定である。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

新谷昌人, 2016, 光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究, 東北大電気通信研究所研究活動報告, 22, 241-243.

Nagorny, V. D., S. Svitlov, and A. Araya, 2016, Improving absolute gravity estimates by the Lp-norm approximation of the ballistic trajectory, Metrologia, 53, 754-761.

(10) 平成29年度実施計画の概要:

重力計の系統誤差の評価を継続する。新型プロトタイプの火山体における試験観測、およびデータ通信試験を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

新谷昌人、高森昭光

他機関との共同研究の有無: 有

国立天文台 田村良明、東北大 中沢正隆ほか2名、京都大学 福田洋一ほか3名、極地研 土井浩一郎、産総研 名和一成

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所
電話：03-5841-5712
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：新谷昌人

所属：東京大学地震研究所

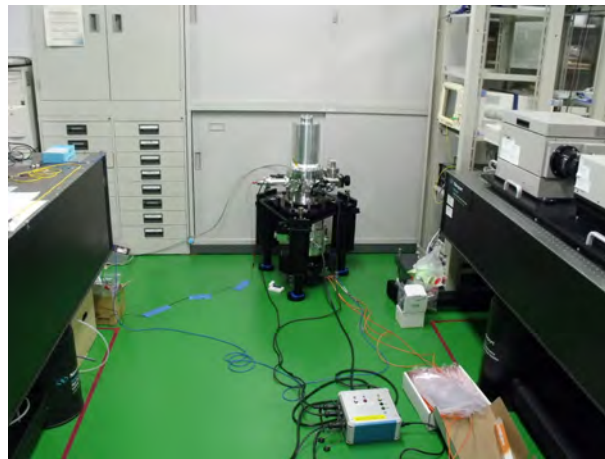


図1 通信波長帯光源(波長1550nm帯)による絶対重力測定。

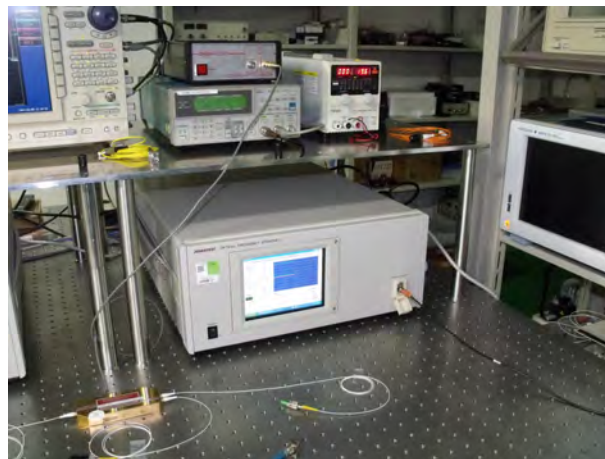


図2 東北大・電気通信研究所で開発されたアセチレン安定化ファイバーレーザー。

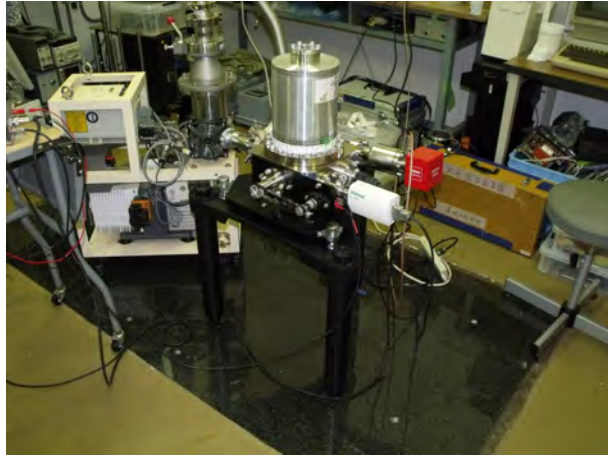


図3 小型落下装置のプロトタイプ。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

次世代プレート境界地震発生モデル構築のための実験的・理論的研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

2011 年の東北地方太平洋沖 M9 地震は、アスペリティと認定されていなかった領域で大きな地震性滑りが生じたものであり、地震発生予測シミュレーションにおいて有望とされてきた、摩擦特性の固定的な空間分布によってプレート境界断層が固着域(アスペリティ)と準定常的クリープ域に棲み分けられているという単純なアスペリティモデルが巨大地震には適用できないことが明白となった。実際、2011 年 M9 の破壊域内部でのスロースリップが観測されている。また、スロースリップは、南海トラフ巨大地震の破壊域と予想されている部分の深部と浅部でもみつかっている。このような事実は、プレート境界の摩擦において時間・空間スケールによって異なった物理プロセスが働くことを示唆している。プレート境界での物理的条件や、物性に関してさまざまな仮定を置いてこのような観察を説明する仮説は既に提出されているが、仮定の妥当性を観測データだけから判断することは困難である。本課題では、室内実験・物理理論・数値シミュレーションの 3 つのアプローチを組み合わせて、複雑

で多様なプレート境界の滑り現象に関する観測と矛盾しないと同時に、プレート境界の条件での物理化学素過程として妥当なプレート境界の断層モデルを構築することを目標とする。その成果は次世代の予測シミュレーションにおいて設定されるべき物理モデルの指針となるであろう。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

室内実験、理論研究、数値シミュレーションは、連携を保ちつつ独立に進める。

A. 室内実験。

A1：プレート境界では、陸側プレートと海側プレートの岩盤が、未固結堆積物の層を介して接触していると考えられる。室内実験において、粉体層内に形成される剪断集中帯より十分厚い粉体層がある場合に、高速滑りによる動的な弱化によらなくても非常に長い距離にわたる滑り弱化がおこるケースが報告されている。これは、巨大地震の発生に必要な、大きなエネルギーの長期にわたる蓄積を可能にするメカニズムであり、非常に長い滑り距離のとれる回転式剪断試験機を用いて、このような現象がおこる条件を探る。

A2：プレート境界の熱水条件下では、未固結堆積物は徐々に固結し、それとともに、力学・水理特性も変化してゆくと考えられる。この様子を解明するために熱水条件下で粉体の固結実験を行う。

A3：スロースリップは、プレート境界の剪断のメカニズムが、温度・圧力・変形速度によって、脆性的なものから延性的なものに遷移することと関係している可能性がある。本課題ではアナログ物質を用いた脆性-延性の遷移の実験等を参考に物理的に妥当な形の構成則を開発する。また、より高温高压の実験を達成することで、実際の岩石における脆性-延性遷移のデータを取得する。

A4：間隙圧の強度に対する影響は、脆性域では、「有効圧 = 拘束圧 - 間隙圧」なる有効圧力の法則としてよく確立されている。しかし、プレート境界深部に存在すると考えられる蛇紋岩等では、延性変形の効果によって大きなずれが生じることが考えられるため、高温高压実験による拘束をめざす。

B. 理論的研究においては、微視的素過程から摩擦構成則を構築し、実験室データを断層に適用するために必要となるスケール則を調べる。そのために、断層スケールでの地質学的不均一性及び断層面の不規則形状をモデル化し、モデルの最小スケールにおいて摩擦則を与えて、より大きなスケールでの平均的な挙動を調べる。また、温度計を設置した自然断層において地震の発生を待ち、滑り域が10-100m程度のサイズの地震時の摩擦発熱量から地震時動摩擦の絶対値を推定する観測を継続する。計画の後半では、最小スケールで与える構成則に時間依存性をもたせて、理論の拡張をおこなう。

C. 断層滑りシミュレーションでは、複数の変形メカニズムを滑りモデルにとりこむために摩擦構成則の拡張を行ない、階層性を含めた構成則パラメータの不均質分布が地震発生パターンに与える影響や、滑り速度や温度等で卓越する変形メカニズムが交替することの影響を明らかにする。素過程としては、高速滑りによる動的弱化等、本課題での実験以外から知られているものも含めて、様々な素過程の競合・共存を検討する。滑りによる発熱や断層周辺岩石の破碎と間隙流体の非線形相互作用に関しては、ゆっくりとした流体移動から高速な断層滑りまでの一見多様に見える動的地震破壊を体系的に理解することをめざす。また、不均質媒質中の地震破壊伝播計算手法の開発を行い、断層周辺の不均質構造と地震断層破壊との力学的相互作用を取り入れた定量的モデルを構築する。

(8) 平成28年度の成果の概要：

プレート境界の強度

スロースリップや大地震の発生において根本的に重要な役割を果たすと考えられている脆性-塑性遷移領域(BDT)における断層の剪断強度への間隙流体圧の力学的影響について、アナログ物質として岩塩ガウジを用いた実験を、温度・封圧・間隙流体圧をそれぞれ独立に変えて行った(Noda and Takahashi, 2016a)。BDTでは塑性領域に近づくと剪断強度の法線応力依存性が消滅するが、有効法線応力に対する間隙圧の負の効果は断層の真実接触面積の増加によって徐々に消滅するはずであるという従来の説(Scholz, 1990; Hirth and Beeler, 2015)は全くデータにあわず、真実接触面積の割合が高い場合でも、封圧から間隙圧をそのまま減じたものを有効法線応力として採用すべきであると結論された。理

論的な解釈として、従来の説は、摩擦境界の真実接触部の割合が固体の直接接触部に集中した法線応力による塑性降伏で規定されることを前提としていたが、空隙圧は真実接触部への側圧としても働くことを考えれば、この降伏現象は(平均応力には影響を受けず)偏差応力によって規定されると考え直すべきことを提案した。また、今回の実験データによりBDTの強度プロファイルを構築すると、従来の説が予測する顕著なピーク強度が全く見られないものとなったが、そのような挙動のなだらかさを説明するには、上記の有効応力についての修正に加えて、真実接触面積と有効応力の関係が非線形であるとか、真実接触の周辺のバルク部分の流動が接触面での滑りに加えて無視できない(加藤, 東大修論, 2009)といった要素が必要であることも指摘した(Noda and Takahashi, 2016b)。

高温・高圧試験に用いられる三軸変形試験機には、サンプルセットの簡便のため、サンプルコラムが容器内で分離(split-piston 機構)されていない物が多数運用されている(産業総合技術研究所、広島大学、東北大学など)。内部荷重計はO-ringの支える力に影響を受けずにサンプルに加わる力を測定できるが、温度・圧力等の条件により出力にオフセットが生じる。Split-piston機構を有しない場合、ゼロ荷重の出力を正確に見積もる事がこれまで困難であったため、強度の低いサンプル(例えば塑性領域の岩塩)の正確な力学データ取得の障害となっていた。本成果では、外部・内部両荷重計の出力を組み合わせる事により、O-ringの支える力や内部荷重計出力に含まれるオフセットを見積もる手法(図1)を見出し、より正確な力学データの取得を可能にした(Noda and Takahashi, 2016c)。

天然断層の動摩擦強度の直接計測のために南アフリカ鉱山地下でおこなっていた断層温度の観測については、今年度、鉱山の閉山に伴い観測を撤収した。温度計を設置した断層では顕著な地震は起らなかった。そこで、別の鉱山でおこったM2.2の地震の7ヶ月前と18ヶ月後に破壊域(地下3.3km)から採取してあったボーリングコアを用いて応力の推定を行った(Abe et al., 2016a,b)。どちらのボーリングも低角の斜孔であり、地震断層(南北走向、西落ち60度の正断層)にそこそこ直交している。これまでにボアホールブレイクアウトとコアディスクキングの観察からの推定(Yabe et al., 2013)は行っていたが、本年度は、コアの扁平率から、ボーリング軸に直交する面内での差応力を求めるDCDA法(Funato and Ito, 2013)を行った。地震断層から西2m及び東12mの場所での地震後の差応力値について、従来は120MPa以下という大まかな推定しかできていなかったが、DCDA法では場所により70ないし110MPa程度の値に誤差10MPaほどで決定することができた。また、岩相が珪岩となる西13m以遠については、地震前に差応力値が100MPaであったものが、地震後には22ないし30MPa程度となっていたことがわかった。ただし、応力の変化は地震変位以外に、周囲での採掘の進行による影響を受けている。さらに、比較的情報の多い地震後については、今回求めたボアホール直交面内での差応力値と、これまでに求めたブレイクアウトとディスクキング、及びM2.2地震の本震断層面ではdip slipが生じるという不等式的拘束を全て満すような三軸応力状態の組合せをグリッドサーチで求め、各データの不確かさも考慮した上で図2のように絞り込むことができた。最大圧縮応力と最小圧縮応力の差は100MPa程度以上あることがわかる。

摩擦の物理的基礎

断層ガウジの粒子サイズがべき関数的に分布していることは良く知られている。断層ガウジの形状やサイズ分布は、断層の強度や力学的挙動にも影響を与える。しかし、べき分布する粒子サイズ分布がどのようにして生成し、どのように発展していくかについての、理論的な理解は進んでいない。そこで粉体試料として低荷重でも粉碎し易いショ糖の結晶を採用して粉碎過程を含んだ粉体剪断試験を実施した。画像式粒子分析装置を用いた手法でべき分布するような粒度分布を測定できることを確認した。剪断変位の増加とともに、粒子サイズ分布が変化していく様子がとらえられた。特に、今回の実験では小粒径側から指数-1のべき分布が発達していくことが明らかになった(図3)。これは理論モデルを構築する上で重要な知見となる。

RSF 則に基づく釜石沖繰り返し地震の予測実験

これまで、東北地方太平洋沖地震後の釜石沖繰り返し地震の発生時系列に合わせてRSF摩擦則のバ

ラメタを求めてつくった滑りモデルを、周囲の実測滑り量で駆動してさらにその先の繰り返し地震の発生時系列を予測するという実験を行ってきたが、その結果を系統的にまとめた。摩擦則パラメータは一意には拘束できないが、それでも複数のシナリオで別々に予測を行い、アンサンブル平均をとることで妥当な予測結果を得ることができた (Yoshida et al., 2016)。

巨視的な滑りイベントの発生規準に関する新しい理論

弾性体中にある断層の巨視的な滑り出しの振る舞い(鈴木・松川 2106c, e)を理解するために、定常状態を仮定した時の破壊伝播速度 v を調べた。非常に長い一次元の断層において、粘性と、滑り速度の二次関数的依存性をもつ摩擦則を仮定した(鈴木・松川 2106a, b, d)。境界条件として、断層の片端で一定の歪を与え、反対の端で歪ゼロとした。このような系での伝播速度で進む定常解を考え、問題は Aronson&Weinberger (1975) によって解の振舞いが示されている非線形偏微分方程式に帰着することをみいだした(鈴木・松川 2106a, d)。その結果、自発的に選択される伝播速度の臨界値 $v = (E+2ab)^{0.5} - (2ab)^{0.5}$ が存在することがわかった(E ヤング率、 η 粘性、 a, b は二次関数的摩擦を特徴づける正定数)。特にこれより小さい伝播速度では定常解になりえず、途中で減衰してしまうことが解析的に予言される。

数値計算法の理論的基礎づけ

近年、地表面や二層媒質境界面など不連続面で区切られた不均質媒質を考慮した断層破壊計算手法の定式化が提案され実現している。今年度は、2次元動的破壊問題の数値計算コード作成において必要となる全ての滑り応答関数の導出を行った(日下部・亀, 2016)。

大きな SSE を含む地震サイクル

昨年度、沈み込み型プレート境界の地震発生域の深部延長で摩擦の速度弱화에上限速度をもつと仮定した(この領域を遷移域と呼ぶ)数値シミュレーションから、Linde&Sacks (2002)が提唱したような、遷移域での大きな(1m級の滑り、遷移域から脆性領域にわたる広い滑り範囲)プレスリップが起こることを示した。本年度は、脆性域の大地震を妥当な繰り返し間隔で起こせるパラメータ範囲(Aging Lawの特徴的滑り距離 L が6から11mm)で、系統的に L を変えて多数のサイクルシミュレーションを行い、現象的なプレスリップの観点から、大地震の発生は図4に示した表のような3つのタイプに分類できることを見出した。タイプ1は、遷移域で開始したSSEが成長していく途中で脆性域の地震が始まるもので、地震の側からみれば、その準静的震源核がSSEによって達成されたことになる。このようなケースは L が8mm以下のシミュレーションに限定される。図5に、直近のSSEから地震までの時間間隔(t_d)のヒストグラムを示したが、タイプ1は、SSEの成長途中で地震になるケースなので、最も左の $t_d \sim 0$ のピークに対応する。二つ目のタイプは、遷移域から始まったSSEがそれ自体としては(遷移域の滑り遅れを解消して)収束に向かうが、収束しきらない内に、SSEによって載荷レベルを一気に高められた脆性域が遅れ破壊として震源核形成、地震を起こすパターンで、 L が8mm以上のシミュレーション全てでみられる。このとき t_d は、脆性域の震源核形成のはじまりから地震発生までの期間とし、図5では t_d が $O(10^0$ 秒)から $O(10^6$ 秒)にかけての分布に相当する。タイプ2での t_d は最大でも38.4日であり、この程度の期間では滑り遅れの蓄積による応力上昇は無視できる。また、脆性域の震源核形成開始以降、SSEによるすべりは小さいから、震源核形成が開始した段階で、脆性域は既に外部からの応力付加がなくとも自発的に加速する不安定(準動的滑り)の段階に達していたと判断できる。したがって、若干の待ち時間はあったとしても、タイプ2は、タイプ1とともに、大地震がSSEにトリガされて起ったケースとみなせる。三つ目のタイプは、図5で t_d が $O(10^8$ 秒)から $O(10^9$ 秒)にかけて分布するもので、SSEに先行されずに起る地震である。(タイプ3の t_d は直近SSE収束後地震発生までの時間であるが、これは最小でも7.7年であり、SSE収束時の応力レベルでは脆性域が自発的不安定に至らず、滑り遅れの蓄積によるさらなる応力上昇を待つ必要があったと考えられる)。タイプ3では、現象的な意味での直前プレスリップは、脆性域内での準動的滑りだけであり、摩擦速

度弱化に上限速度をもたない伝統的な脆性震源核セオリーから期待されるものと同じである。ただし、このパターンで地震がおこったのはLが9.8mm以上のケースだけで、Lが大きいと、脆性震源核の大きさ自体あまり小さくはない。なお、Lが11mmを超えると、大地震の破壊が地表から始まるようになり、非現実的であるため、シミュレーションを行わなかった。

以上のように、遷移域で大きなSSEがおこるような地震サイクルでは、SSEが地震に短期的($t_d=0$ も含めて)に先行する確率が高いという結果が得られた。一方で、地震に先行するものと同じくらい大きく成長するものの、自然に収束し、地震をトリガしないSSEがサイクルの前半に一ないし二回起こり(我々のシミュレーションにおけるSSEの滑り量は、大きいとはいっても、地震1サイクルの間のプレート収束量の数分の一に過ぎないから、これは当然である)、したがって、このような超弩級のSSEであってもprecursorとしてみた場合に空振りがあってしかるべきものだということになる(中谷, 2016)。

- (9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- Abe, S., Y. Yabe, T. Ito, M. Nakatani, G. Hofmann, H. Ogasawara, 2016, Estimate of the stress state of earthquake source region in the South African gold mining by Diametrical Core Deformation Analysis (DCDA), JpGU Meeting 2016, SSS27-P05, Chiba, May 25, 2016.
- Abe, S., Y. Yabe, T. Ito, M. Nakatani, G. Hofmann, H. Ogasawara, 2016, Estimate of the stress state of earthquake source region in the South African gold mining by Diametrical Core Deformation Analysis (DCDA), AGU fall Meeting 2016, T43E-3099, USA, Dec. 15, 2016.
- 日下部哲也・亀伸樹, 2016, 2次元動的破壊問題で必要となるXBIEM核関数の全導出, 日本地震学会2016年秋季大会, 名古屋, 2016年10月6日.
- 中谷正生, 2016, 巨大地震の前兆現象, シンポジウム「南海トラフ巨大地震の予測に向けた観測と研究」, 東京大学武田先端知ビル内・武田ホール, Sept. 30, 2016.
- Noda, H., and M. Takahashi, 2016a, The effective stress law at a brittle-plastic transition: Analogue experiments with halite gouge layers, JpGU meeting 2016, SSS-27-22, Chiba, Japan, May 22-26 (Invited).
- Noda, H. and M. Takahashi, 2016b, The effective stress law at a brittle-plastic transition with a halite gouge layer, The effective stress law at a brittle-plastic transition with a halite gouge layer, Geophys. Res. Lett., 43, doi:10.1002/2015GL067544.
- Noda, H. and M. Takahashi, 2016c, Technical note: Correction of output from an internal load cell in a high-pressure triaxial deformation apparatus without a split-piston, J. Geol. Soc. Japan, 122, 12, 653-658, doi:10.5575/geosoc.2016.0047.
- Ohtani, M., Kame, N. and Nakatani, M., 2016a, Simulated precursory large aseismic slip at the deeper extension of the seismic region along the Nankai Trough, SW Japan, EGU Annual Meeting, Vienna, Austria, April 20, 2016.
- 大谷真紀子・亀伸樹・中谷正生, 2016b, 南海トラフ巨大地震発生領域深部で発生する大きな前兆すべりのモデル化, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 千葉, 2016年5月25日.
- Ohtani, M., Kame, N. and Nakatani, M., 2016c, Modeling large precursory slip at the deeper extension of the seismic region along the Nankai Trough, SW Japan -Interaction between slow slip events and brittle nucleation-, ESC General Assembly, Trieste, Italy, Sep. 5, 2016.
- 笹倉大督・桑野修, 2016, 粒子画像分析法による粉碎粒子の粒子サイズおよび粒子形態特性評価に関する可能性検討(2), 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 千葉, 2016年5月25日.
- 鈴木岳人・松川宏, 2016a, 滑り速度の二次の摩擦則及び粘性を持つ系における滑り端伝播速度と静摩擦力の振る舞い, 日本地震学会2016年秋季大会, S08-15, 名古屋, 2016年10月.
- 鈴木岳人・松川宏, 2016b, 摩擦則の線形臨界安定性解析に基づく滑り端の伝播速度の導出, 日本物理学会2016年秋季大会, 6aAH-8, 金沢, 2016年5月.

- 鈴木岳人・松川宏, 2016c, 滑り端伝播における自発的な静摩擦力の発現と動摩擦力の消失, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS27-01, 千葉, 2016 年 5 月.
- 鈴木岳人・松川宏, 2016d, 粘性と非線形摩擦則を仮定した系における滑り端伝播速度, 日本物理学会第 71 回年次大会, 19pBS-14, 仙台, 2016 年 3 月.
- 鈴木岳人・松川宏, 2016e, 滑り速度に非線形に依存する摩擦則下での臨界現象の発現, 日本応用数理学会 2016 年研究部会連合発表会, 神戸, 2016 年 3 月.
- Yoshida, S., N. Kato, and J. Fukuda, 2016, Forecast experiment on the Kamaishi repeating earthquakes based on numerical simulations using friction law, *Earth Planets Space*, 68, doi:10.1186/s40623-016-0448-7.
- Yoshida, S., 2016, Earthquakes in Oita triggered by the 2016 M7.3 Kumamoto earthquake, *Earth Planets Space*, 68, doi:10.1086/s40623-016-0552-8.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

京都大学防災研究所に新たに導入された高温高圧ねじり剪断試験機を用い、岩塩の脆性塑性遷移領域における変形実験を行う。サンプルアセンブリの改良を行い、予察的データの取得を目指す。また、プレート境界における堆積物の続成作用を東京大学地震研究所の高温・高圧試験機で再現し、物性の変化を測定する。

摩擦構成則の微視的機構に関して、高速での大きな弱化機構として提案されているフラッシュ溶融とナノ微粒子による潤滑効果について、原子論レベルでの検証を目指した MD シミュレーション手法を開発する。

具体的な凹凸をもつ断層面の滑りを直接シミュレーションすることによって、「粗さをもつ平面断層の滑り」として定式化されている巨視的摩擦則の基礎づけを行う。

速度の二次式で変化する摩擦をもつ断層で理論的に予測された巨視的破壊伝播の様々なモードの特徴を、プレート境界で知られている滑り現象と比較する。

大きな SSE を含む地震サイクルの数値シミュレーションに関して、大地震が SSE にトリガされて起る場合の待ち時間が数十日以内に限定されるとの結果であったが、このような傾向が応力ステップ入力に対する遅れ破壊の応答として理解できるか、一自由度のバネ-スライダーモデルによる考察を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 中谷正生・亀伸樹・波多野恭弘・吉田真吾
他機関との共同研究の有無 : 有
東京大学大学院理学系研究科 清水以知子
青山学院大学 鈴木岳人
海洋研究開発機構 桑野修
東邦大学 上原真一
京都大学防災研究所 野田博之
産業技術総合研究所 大谷真紀子

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 中谷正生
所属 : 東京大学地震研究所

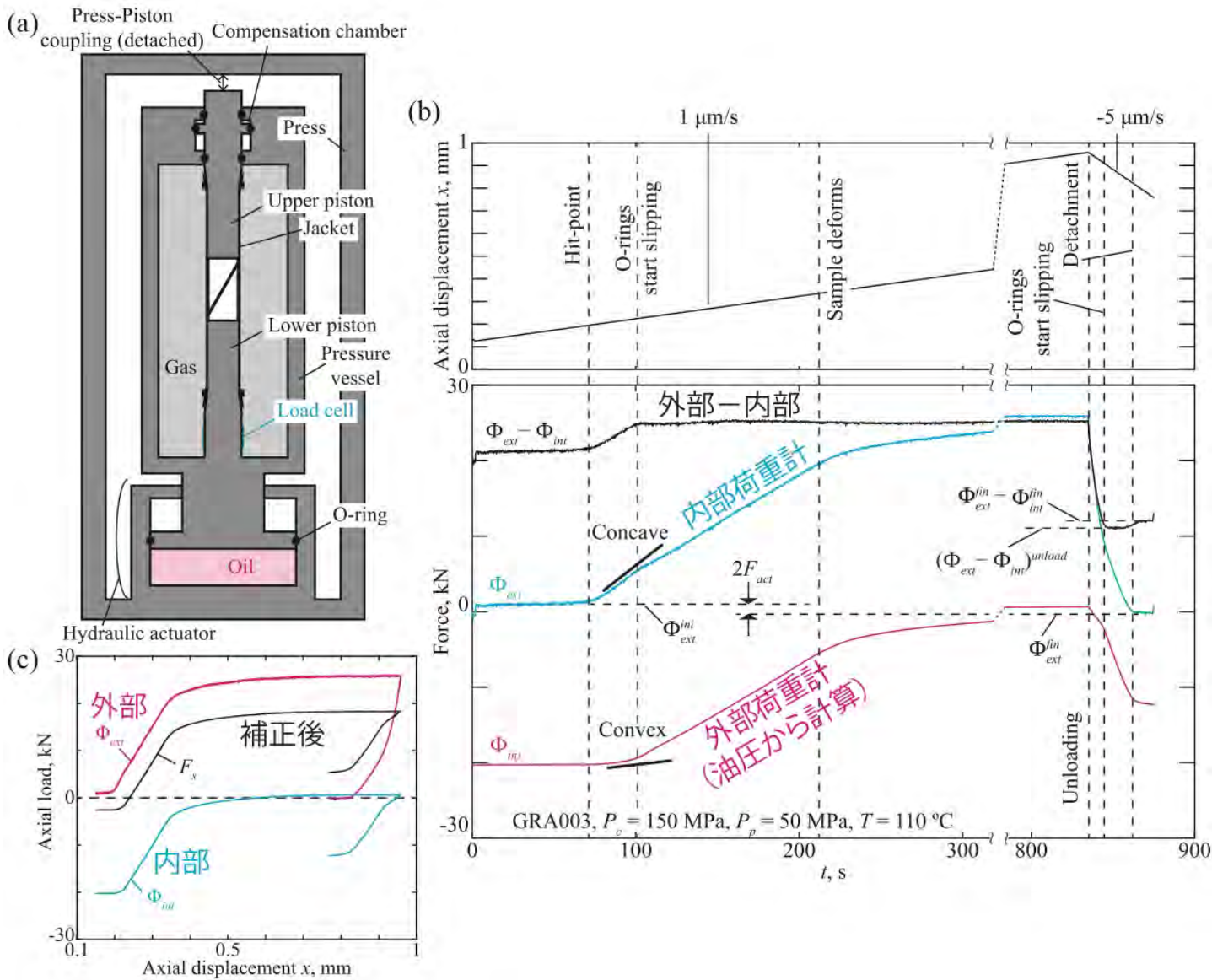


図 1.

Split-piston 機構を有しないガス圧高温高圧三軸変形透水試験機 (産業総合技術研究所設置) の模式図。サンプルコラムは圧力容器内で分離していない。(b) 変形実験中の力学データの例。外部・内部両荷重計の出力には定数分のオフセットが存在し、かつ、時間に依存する成分も存在する。両者の差を取る事により、O-ring が支える力の時間変化を抽出できる。(c) (b) で示した実験の異なる段階での出力を差し引きし、内部荷重計の出力に含まれるオフセットを推定・除去した例。O-ring がある程度の力を支える事ができる為、サンプルコラムには変形実験開始前には引張の、変形実験終了後には圧縮の力が存在していた事がわかる。(Noda and Takahashi (2016, J. Geol. Soc. Japan) より一部加筆。)

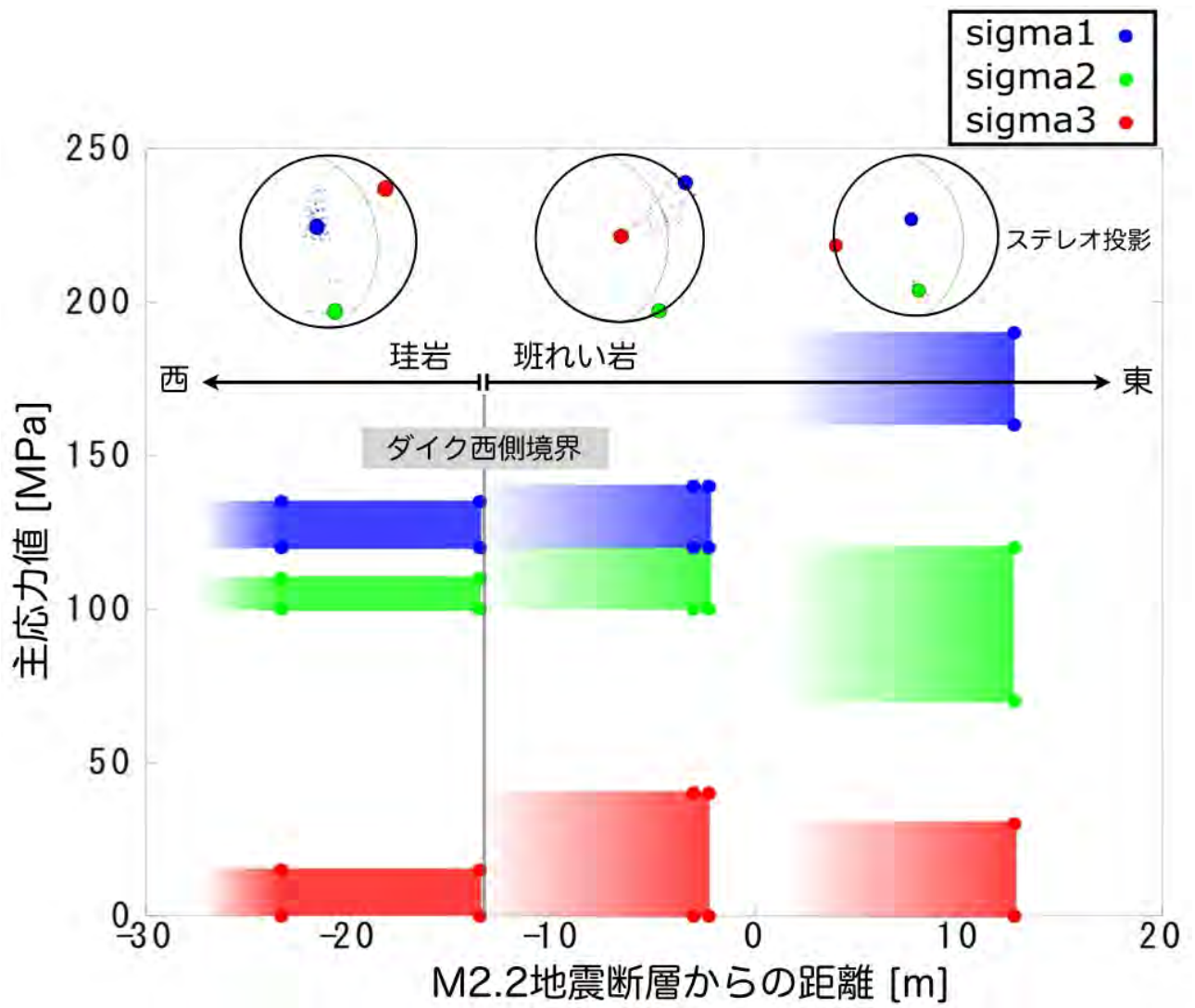


図2. 地震後18ヶ月に掘られたボーリング孔のブレイクアウト、ディスクング、M2.2地震の滑り方向、DCDA扁平率を全て満たす三軸応力状態の範囲。西2m地点ではブレイクアウトを起していなかったこともあって、特に主応力の向きに関して十分拘束できていない。

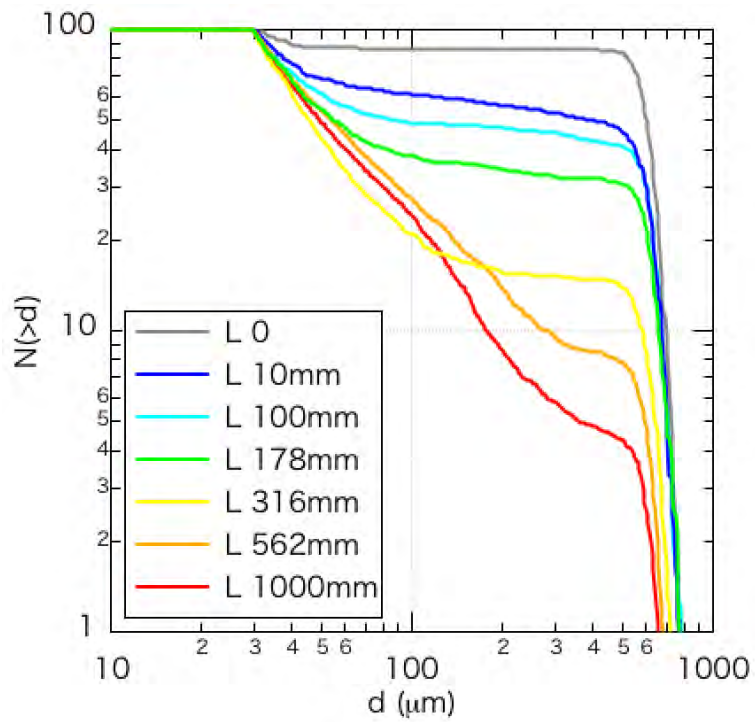


図 3. 低法線応力下でのシヨ糖粒子の剪断実験でみられた粒度分布の変化。d:粒径、L:剪断変位。

L [mm]	Type1	Type2	Type3
	プレスリップ= SSE	プレスリップ= SSE + BP	プレスリップ = BP
6	○		
7	○		
8	○	○	
8.5		○	
9		○	
9.5		○	
9.8		○	○
10		○	○
11		○	○

図 4. 摩擦則の臨界滑り距離パラメタ L を様々に変えて行ったサイクルシミュレーションで現われた大地震の直前プレスリップの三つのタイプ。

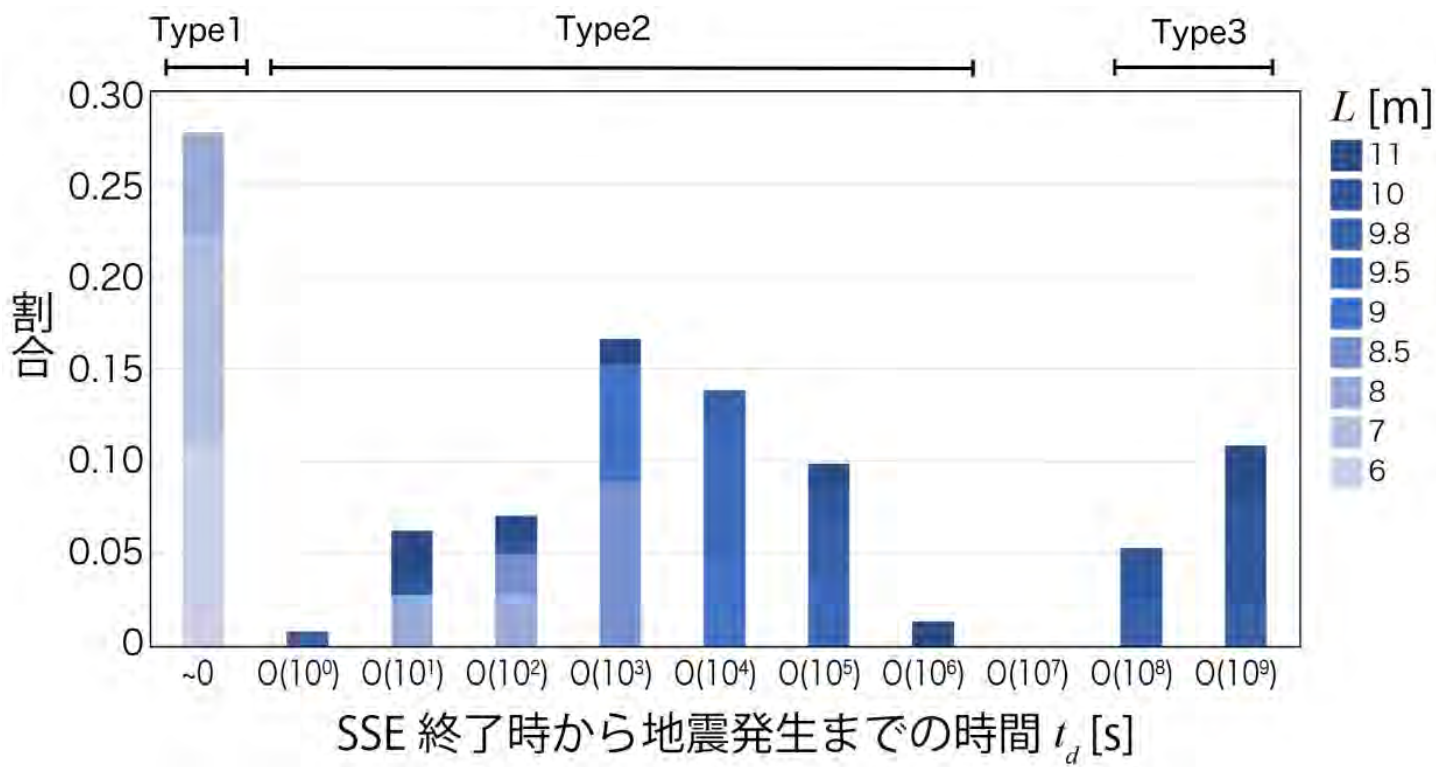


図 5.

図 4 にリストしたシミュレーションで得られた直近の SSE から大地震発生までのタイムラグの分布。どのシミュレーションでも、大地震の発生間隔は 100 年程度。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地球物理・地球化学統合多項目観測および比較研究によるマグマ噴火を主体とする火山の定量化とモデル化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、国内外の火山の比較研究を行う。1) 浅間山の研究に基づきマグマ供給系の深部から浅部に渡る詳細なモデルを提案し、他のマグマ噴火を主体とする国内外の火山で提案されているマグマ供給系モデルとの比較を行う。2) 伊豆大島のデータから応力変化と地震発生の関係を表すモデルを提案し、地震学の分野での先行研究と比較し、火山に適用できるモデルの確立を目指す。3) 諏訪之瀬島では火口近傍観測で観測された噴火直前の加速度的な傾斜変化が、火道内マグマ上昇モデルにより説明されている。諏訪之瀬島において傾斜計を含む火口近傍多項目観測網を強化してモデルの精密化を図るとともに、国内外の火山における観測データおよびモデルと比較する。

これらの比較研究を通じて、マグマ噴火を主体とする火山に共通する要素を抽出し、モデルの高度化を進める。これまでの噴火事象の分岐判断は経験的要素が強かったが、モデルの高度化により、分岐判断に物理的な根拠を与えることができる。それにより、噴火事象系統樹は経験則の段階から科学的理解を基礎に置いた予測手法へ進化し、経験則に近い現状に比べて予測精度が大きく向上する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は実施機関及び共同研究機関の運営費交付金に支えられる計画である。

平成 26 年度：浅間山、諏訪瀬島において観測網の高度化を開始する。また、伊豆大島においてはガス観測準備のため、1000m 孔からのケーブル引上げを行う。桜島において空中時期観測および火口近傍への観測装置設置を行う。

平成 27 年度：浅間山、諏訪瀬島においては高度化された観測を継続する。伊豆大島においてはガス観測機器の開発を進めるとともに、地震・地殻変動観測網の高度化を進める。樽前山で空中時期観測を行う。比較研究のための海外火山調査を行う。

平成 28 年度：浅間山、諏訪瀬島、伊豆大島においては高度化された観測を継続する。伊豆大島においてはガス観測機器の開発も継続する。桜島において空中時期観測および火口近傍への観測装置設置を行う。観測対象火山においてモデルを構築し、国内外火山との比較を進める。

平成 29 年度：浅間山、諏訪瀬島、伊豆大島においては高度化された観測を継続する。伊豆大島においてはガス観測機器の運用テストも行う。樽前山において空中時期観測を行う。比較研究のため、海外調査を行う。観測対象火山においてモデルを構築し、国内外火山との比較を進める。

平成 30 年度：浅間山、諏訪瀬島、伊豆大島での観測を継続するとともに、比較研究に基づくモデルの高度化を進める。桜島において空中時期観測および火口近傍への観測装置設置を行う。海外調査を行い、観測対象火山と国内外火山とでモデルの比較をさらに進め、噴火事象系統樹の分岐判断へ応用する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

浅間山、伊豆大島において地震観測、ガス観測、電磁気観測等の高精度観測を継続している。空中磁気観測は桜島の代わりに三宅島で実施した。更に、口永良部島および桜島において前年度に無人ヘリにより設置した地震計、GPS による観測を継続している。

観測・解析から得られた主たる知見は以下のとおりである。

地震波干渉法解析を国内 14 火山に適用し、伊豆大島・桜島等において、速度変化が GNSS による面積歪と相関することがわかった。山体変形の大きい伊豆大島について、面積歪に対する地震波速度変化の感度係数を推定した。桜島においては 2015 年 8 月のダイク貫入に伴う相互相関関数の変化を検出し、散乱特性の変化した場所が貫入位置に調和的であることがわかった。複数の火山の比較研究を行い、爆発地震の規模別頻度分布はべき分布でなく指数分布で説明されるものが多いことが分かった。桜島の爆発地震に対してスペクトル比法を適用し、一般の地震とは異なる震源特性が得られた。爆発開始時と連続噴煙時の震源特性に違いがあることも分かった。桜島噴火に伴う山体変形を傾斜データから調べたところ、爆発開始時に顕著な短期隆起が観測されることと、隆起量と噴煙高度の相関が高いことが分かった。

三宅島の火口周辺 2km を対象として空中磁気観測を行い、2014 年度の観測結果と比較したところ、北側で負、南側で正の変化がみられた。これは、水位の回復による冷却帯磁と解釈できるが、地殻変動観測から山体の膨張が観測されている点を考慮すると、圧力増加によるピエゾ磁気効果という解釈も可能である。

伊豆大島で実施した土壌二酸化炭素測定結果からは、従来の観測で得られている二酸化炭素放出量と山体膨張の関係に調和的な結果が得られた。浅間山でも土壌二酸化炭素の調査を行い、炭素同位体比測定を実施した。その結果、浅間山火口の東部はマグマ 熱水系起源、西部は生物起源であることが示唆された。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Hirose, T., H. Nakahara, T. Nishimura, Combined use of repeated active shots and ambient noise to detect temporal changes in seismic velocity: Application to Sakurajima volcano, Japan, Earth, Planets and Space, (in press)

Nishimura, T., M. Iguchi, M. Hendrasto, H. Aoyama, T. Yamada, M. Ripepe, R. Genco, 2016, Magnitude-frequency distribution of volcanic explosion earthquakes. Earth, Planets and Space, 68:125, DOI:

10.1186/s40623-016-0505-2

Savage, M. K., Y. Aoki, K. Unglert, T. Ohkukra, K. Umakoshi, H. Shimizu, M. Iguchi, T. Tameguri, T. Ohminato, J. Mori, 2016, Stress, strain rate and anisotropy in Kyushu, Japan, Earth Planet. Sci. Lett., 439, 129-142, doi:10.1016/j.epsl.2016.01.005

大湊隆雄・金子隆之・小山崇夫・渡邊篤志・神田径・為栗健, 2016, 無人ヘリによる口永良部島火口周辺域における地震観測点の再構築, 京都大学防災研究所年報, 59B, 76-83

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

浅間山、伊豆大島等における高精度多項目地球物理観測を継続する。無人ヘリを用いた観測に関しては、桜島および口永良部島における火口近傍での地震・地殻変動観測を継続するとともに、霧島での空中磁気観測を実施する。火山ガスに関しては、伊豆大島では土壌二酸化炭素放出量測定を継続し、活発化の傾向が見られる浅間山においては FTIR を用いた遠隔分光測定による火山ガス組成の繰り返し観測を実施する。

地震波干渉法解析については、伊豆大島や桜島をターゲットと都市、時間変化の検出アルゴリズムの開発を進める。また、桜島の爆発地震へのスペクトル比法の適用や傾斜データ解析は、データに吟味を加えつつ更に解析を継続する。また、諏訪之瀬島やインドネシアの活動的火山も同じ解析手法の適用対象とする。

また、国内外の比較調査研究を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

武尾実、森田裕一、大湊隆雄、上嶋誠、市原美恵、及川純、金子隆之、青木陽介、小山崇夫(以上地震研究所)、橋本武志(北大)、本多嘉明(千葉大)、井口正人、中道治久、為栗健(以上京大防災研)、西村太志、三浦哲(以上東北大)、野上健治(東工大)、松本聡、寅丸敦志(以上九大)、森俊哉(東大院理)、八木原寛(鹿児島大)

他機関との共同研究の有無 : 有

浅間山 : 森俊哉(東大院理)

伊豆大島 : 松本聡(九大)、野上健治(東工大)、三浦哲(東北大)

諏訪之瀬島 : 井口正人、中道治久、為栗健(以上京大防災研)、西村太志(東北大)、八木原寛(鹿児島大)

樽前山 : 橋本武志(北大)、本多嘉明(千葉大)

桜島 : 井口正人、中道治久、為栗健(京大防災研)、本多嘉明(千葉大)

モデル化 : 寅丸敦志(九大)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5712

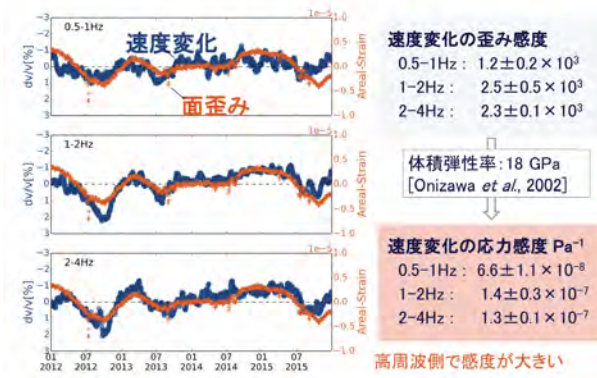
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

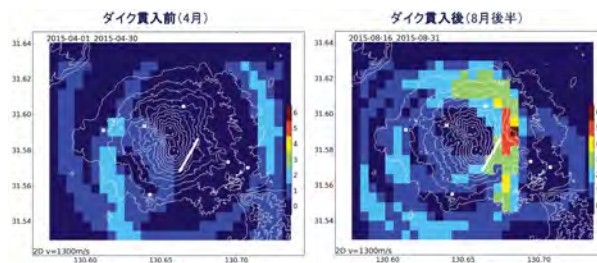
氏名 : 大湊隆雄

所属 : 東京大学地震研究所



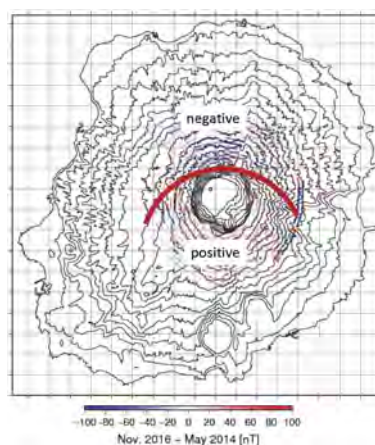
伊豆大島における地殻変動と地震波速度変化の対応

伊豆大島において、気象庁データに地震波干渉法を適用し速度変化を得た。GNSS 観測から求められた面歪と比較したところ、極めて相関が高いことが分かった。周波数帯域毎に地震波速度変化の応力感度を求めたところ、高周波側で感度が大きいことが分かった。



桜島における 2015 年 8 月 15 日貫入イベントに伴う散乱特性の変化

地震波干渉法を桜島の気象庁データに適用し、2015 年 8 月 15 日貫入イベントに伴う散乱特性の変化を検出した。一次散乱を仮定した逆投影で散乱特性の変化領域を求めた結果、地殻変動観測から推定されたダイク貫入位置に一致した。



三宅島磁化強度変化 (2014-2016)

三宅島で 2014 年 5 月と 2016 年 11 月に、無人ヘリによる空中磁気測量を行った。2 度の測定結果の比較から、北側が負、南側が正の異常の変化が見られた。変化源として冷却帯磁あるいは地下の圧力増加に伴うピエゾ磁気効果が候補として挙げられる。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

プレート境界すべり現象モニタリングに基づくプレート間カップリングの解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(3) 関連研究分野との連携の強化

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標 :

プレート間カップリングの多様性と相互作用を詳細に把握し, そのメカニズムを明らかにすることは, 巨大地震と他のプレート境界現象との相互作用の解明に資するとともに, プレート境界に対する理解を深めることで巨大地震の発生予測の高度化に貢献する. そのため, スロースリップイベントや深部低周波微動を含むスロー地震等の多様な滑り現象を高精度に把握し, それらの現象の時空間発展等の活動様式, とくに現象間の相互作用を明らかにするとともに, これらの多様なプレート間カップリングを規定する構造的要因を明らかにする. また, 相互作用によって発生する現象の誘発メカニズムを理解し, シミュレーションによって現象の再現を試み, 巨大地震との関わり合いに関する知見を得る. 特に, 2016 年に発生が予想される豊後水道の長期的スロースリップイベント (SSE) とそれに誘発される様々な滑り現象などについて, 多項目のモニタリングを集中することにより, 相互作用を含めた一連の現象のメカニズムを解明する.

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本研究計画は, 以下のモニタリング, 構造探査・シミュレーションから構成される.

1. モニタリング精度向上とプレート境界すべり現象解明

1(1) 豊後水道における隣接すべり現象間の相互作用の解明

豊後水道で 2016 年 (平成 28 年度) に発生が予想される長期的 SSE とそれによって誘発される多様なスロー地震群を正確に把握し, その時空間発展に基づいて相互作用を解明するため, 豊後水道の周辺陸域に広帯域地震観測点, 島嶼部に GPS 観測点, 海域に海底地震計・圧力計を設置し, 長期的 SSE の滑りパラメータや浅部超低周波地震の検出精度を向上させる. また地震波干渉法による地下構造の時間変化の抽出を試みるとともに, 重力・電磁気観測の結果と比較し, すべりの時間発展と流体との相互作用を明らかにする.

[GPS 観測]

(平成 26 年度)

豊後水道周辺島嶼部の数か所に機動的 GPS 観測点を設置し, 国土地理院 GEONET のデータを加えて長期的 SSE のすべり分布の時空間発展を推定するためのモニタリング体制を構築する.

(平成 27~30 年度)

機動的 GPS 観測点によるモニタリングを継続し, 長期的 SSE が発生した場合には, 国土地理院 GEONET のデータを加えてすべり分布の時空間発展を推定する.

[陸域地震観測]

(平成 26 年度)

浅部・深部超低周波地震等を把握するための機動的広帯域地震観測点や, 地震波干渉法による長期的 SSE 震源域周辺の速度変化把握のための機動的短周期地震観測点の選定を行なう.

(平成 27~30 年度)

機動的広帯域地震観測点を設置し, 既存のデータ流通網を活用して防災科研にもデータ転送し, 超低周波地震・深部低周波微動について従来の処理システムを活用したモニタリング体制を構築する. それに基づいて, 長期的 SSE の発生に伴う浅部超低周波地震や深部低周波微動・超低周波地震の検出を進める. また, 地震波干渉法によるモニタリングを行なうとともに, 過去データ解析を進める.

[海域観測]

(平成 26~30 年度)

海域に海底地震計や圧力計を数台設置して観測を実施し, 海域観測機器を交換してモニタリングを継続するとともに, 長期的 SSE 発生前の定常的活動及び長期的 SSE に伴う地殻変動や超低周波地震を検出するためのデータ処理を行なう.

機動的 GPS・広帯域・短周期地震観測点については, 長期的 SSE 終了後もその影響を見極めるためのモニタリングを継続する. 長期的 SSE が発生した場合には, 海陸のデータを融合して各スロー地震の発生源の時空間発展を正確に推定し, 現象間の相互作用を明らかにする. また, 1(5) によって得ら

れた重力変化や比抵抗変化，及び地震波干渉法による地下速度構造変化との比較から，すべりの時間発展と流体との相互作用を明らかにするとともに，シミュレーションモデルの構築に資するデータを提供する．

1(2) 東海地域における長期的・短期的 SSE の時空間変化の 推定手法の高度化とプレート間すべりの解明

東海地域は数年に及ぶ長期的 SSE と一週間程度の短期的 SSE が発生する場であり，これらの発生領域の特性を解明することが重要である．このため，東海地域に展開している大学連合による GPS 観測を維持・強化し，周期的に発生する短期的 SSE を把握して滑りパラメタを高精度に推定し，当該地域における滑り収支を把握するとともに，長期的 SSE の発生も期待されるため，発生した場合にはその滑りパラメタの高精度推定を行う．

(平成 26 年度)

伊勢湾付近を中心として機動的 GPS 観測点を数か所設置し，既存の大学連合による GPS 観測点及び国土地理院 GEONET のデータを加えて，東海長期的 SSE や微動に伴って生じる短期的 SSE のモニタリング体制を構築するとともに，短期的 SSE を自動的に検出する手法の開発を進める．

(平成 27～30 年度)

モニタリングを継続するとともに，周期的に発生する短期的 SSE について自動検出結果との比較に基づき，システムの改良を継続的に行う．長期的 SSE が発生した場合にはその滑りパラメタの高精度推定を行う．前期の研究に基づき，短期的 SSE と長期的 SSE の特性を比較し，場の物理特性の違い等を解明する．

1(3) 房総 SSE と群発地震活動との相互作用の解明

房総半島に展開している機動的 GPS・地震観測網や定常観測網を維持し，房総沖でこれまでも繰り返し発生している SSE とそれによってトリガーされる小繰り返し地震を含む群発地震活動をモニタリングし，発生した場合にはその時空間発展に基づきこれらの相互作用を解明する．

[GPS 観測]

(平成 26～30 年度)

房総半島沿岸の機動的 GPS 観測点の維持を行なうとともに定常状態を把握し，房総 SSE が発生した場合には，そのすべりの時間発展を正確に推定する．

[地震観測]

(平成 26～28 年度)

委託研究で維持されている房総半島内の MeSO-net(大大特) の地震観測データを活用し，既存の地震観測データを含めて定常的な地震活動の把握を行なう．

(平成 29～30 年度)

MeSO-net 観測点を維持するとともに，房総沖 SSE が発生した場合にはそれに伴う群発地震活動の高精度震源決定を行ない，SSE すべり域との時空間的關係を明らかにする．

小繰り返し地震解析から準静的すべりのすべり量を推定し，測地学的推定結果との比較を行う．

1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

(平成 26～30 年度)

深部低周波微動等のスロー地震カタログを用いて、セグメント構造・周期性・移動性・トリガリングなどのスロー地震活動様式の特徴を抽出し，巨大地震活動様式との類似性・相違性を明らかにし，活動予測モデルを構築する．

1(5) 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

南海トラフ等の長期的 SSE の生じている地域において重力観測及び電磁気観測を実施し，摩擦構成則に関連する間隙流体圧の変動パターンを質量変化及び比抵抗変化を通じて捉えることにより，すべりの時間発展と流体との相互作用を明らかにする．

[重力観測]

(平成 26～30 年度)

東海・四国・宮崎・房総等の SSE 発生域において年 1 回程度の絶対重力観測を行う。平成 29 年度に豊後水道で絶対重力観測を連続観測に切り替え、SSE による重力変化の常時監視を行う。平成 30 年度に SSE による重力変化データを GPS、地震、電磁気データと統合し、流体とすべりとの相互作用をモデリングする。

[電磁気観測]

(平成 26 年度)

1994-1995 年、2000-2001 年にわたって観測を実施した四国西部におけるネットワーク MT 法観測データをコンパイルし、四国西部広域深部 3 次元比抵抗構造を推定する。得られた構造に対して比抵抗構造の変化が予想される領域に対する地上電磁場観測点の感度を調べ、平成 27 年度からのモニターの観測の最適な観測点配置を検討するとともに、ネットワーク MT・磁場観測点の選定、土地交渉等を行う。

(平成 27 年度)

前年度に選定したネットワーク MT・磁場観測点において、それぞれ長基線地電位差観測・磁場 3 成分観測を開始する。さらに、観測データの 1 次的解析(電磁場、磁場磁場間応答関数推定)を実施し、得られた応答関数が平成 26 年度で検討した感度を勘案して著しくデータの質が劣る観測点に関しては、観測の中止、ないしは移転を行う。

(平成 28~30 年度)

電磁場モニター観測を継続し、豊後水道長期的 SSE を含む応答関数変化の検出を試みるとともに、平成 26 年度における感度検定のために用いた従来のネットワーク MT 法データに、本研究で得られるネットワーク MT 法データをあわせて 3 次元構造解析を行う。

得られた応答関数の変化について、3 次元構造解析に基づいた感度行列から、応答関数変化を担う比抵抗変化領域と比抵抗変化値の決定を試みる。地震波速度構造の変化や、重力値変化から推定された密度構造変化をあわせ、SSE に流体移動の関与があったかどうかを定量的に検証し、SSE の時空間発展メカニズムを考察する。

1(6) 海域観測に基づくスロースリップと誘発現象との相互作用の解明

既に沈み込み帯浅部において SSE または低周波微動・超低周波地震が検出されている領域直上で、海底圧力計による上下変動観測をトラフ軸付近で実施し、浅部の SSE 活動を詳細に調べて、それにより誘発される多様な地震活動を既設のケーブル式地震計記録などから検出する。さらに、観測された SSE の時空間発展と誘発される地震活動の時空間的特徴を比較し、SSE による誘発現象の物理プロセスを調べる。得られた知見に基づき、SSE により誘発される地震活動の予測、特に発生時期に関する予測に向けた研究を行う。

(平成 26~28 年度)

熊野灘や室戸沖の海底ケーブル式観測網の周辺に海底圧力計を設置し既存の観測データと併せて、特に沈み込み帯浅部で発生する SSE とそれに誘発される地震やスロー地震の活動を把握する。

(平成 29~30 年度)

前年度からの観測を継続する。熊野灘や室戸沖周辺で観測された SSE と誘発される地震・スロー地震活動の時空間的特徴から、SSE による周囲への応力の載荷速度の変化と誘発される地震・スロー地震活動との関係を明らかにする。また、東北日本や他地域で観測された SSE とそれに誘発される現象も含めて、SSE とそれにより誘発される地震・スロー地震活動の予測モデルを構築する。

1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

速度・状態依存摩擦構成則に従う余効すべりと地震時・地震後のすべりによるマンツルの粘弾性緩和の双方を考慮したプレート境界地震の余効変動の物理モデルを構築する。このモデルを 2011 年東北沖地震等のプレート境界地震後の GNSS データに適用し、余効すべり発生領域の摩擦特性とマンツルのレオロジーを推定する。また、観測された余効変動に対する余効すべり及び粘弾性緩和の寄与を分離することを試みる。

(平成 26~30 年度)

弾性媒質を仮定して速度・状態依存摩擦構成則に従う余効すべりの物理モデルを構築する。このモデルを用いて、地震時のすべり分布や摩擦パラメータの分布が余効すべりに与える影響を調べる。このモデルを基に、地震時・地震後のすべりによるマンツルの粘弾性緩和を取り入れたモデルを構築する。弾性・粘弾性モデルを用いて、東北沖地震等のプレート境界地震後の GPS データを再現できるような余効すべり域の摩擦特性とマンツルのレオロジーを推定する。

2. プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出とスロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

想定東南海地震・南海地震震源域の境界域の深部延長上を含む紀伊半島中央部や深部低周波微動活動が明瞭な北東部において、プレートの沈み込む方向に線状稠密アレイを展開し、地震波トモグラフィ解析・地震波干渉法解析・反射法解析等を実施することで巨大地震破壊域の広がりや様々な滑り現象を規定するプレートやマンツルウエッジにおける構造不均質を抽出する。また、過去に実施された自然地震の稠密観測データの再解析に基づき、スロー地震の滑り特性の違いに対応する構造変化、深部スロー地震域セグメント境界・上端・活動様式の深さ依存性を規定する構造の抽出を行う。また、ここで得られた地下構造異常に関する情報に基づいて摩擦パラメータを設定してシミュレーションを行ない、1で得られた様々なプレート間すべり現象の発生様式や相互作用を説明するように、スロー地震活動様式を再現することを試みる。また、スロー地震と巨大地震の同時シミュレーションに基づき、巨大地震発生前後におけるスロー地震活動の長期的・短期的変化を抽出し、巨大地震の切迫度評価や発生予測に資する知見を得る。

2(1) プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出

(平成 26 年度)

紀伊半島で取得されている既存地震観測データの再解析を実施し、深部低周波微動の活動度が異なる紀伊半島北東部と中央部における地下構造の特徴を明らかにするのに最適な地震観測測線位置の検討を行う。既存地震観測データの再解析は、平成 29 年度に渡って実施し、微動発生域を含むプレートやマンツルウエッジの詳細な構造を明らかにする。

(平成 27 年度)

紀伊半島北東部の深部低周波微動が明瞭な領域を通る滋賀県甲賀市から三重県南伊勢町至る「甲賀南伊勢測線」(測線長 約 90 km)で稠密自然地震観測を実施する。測線上の 60 か所に観測点を設置し、6 か月間の連続観測を行う。

(平成 28 年度)

「甲賀南伊勢測線」沿いで既に取得されている制御震源探査データと平成 27 年度に取得した自然地震観測データとの統合解析を実施し、深部低周波微動発生域を含むフィリピン海プレートやマンツルウエッジの詳細な構造を明らかにする。

(平成 29 年度)

紀伊半島中央部の低周波微動の活動が不明瞭な領域を通る測線(串本-橋本測線、測線長 約 90km)に 60 か所の観測点を設置し、6 か月間の自然地震観測を行う。また、測線下の詳細な P 波速度構造を得る為に、測線上の 3 か所で発破を実施する。発破を実施する際には、既存研究で明らかになっている地殻深部の明瞭な反射面の、プレートの沈み込む方向における深度変化を明らかにする為に、450 台のオフラインレコーダを設置する。

(平成 30 年度)

平成 29 年度に取得した「串本-橋本測線」の制御震源・自然地震データの統合解析を実施すると共に「甲賀南伊勢測線」・「串本-橋本測線」と紀伊半島で既に取得されている観測データとの統合解析を実施することで、巨大地震破壊域の広がりを規定するプレートやマンツルウエッジの地下構造異常を抽出し、地下構造異常が微動活動度に及ぼす影響を明らかにする。

2(2) スロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

(平成 26~30 年度)

深部低周波微動の分布や地下構造研究結果を考慮して長期的及び短期的 SSE 発生域における摩擦パラメータ (a-b) や有効法線応力を設定し、カットオフ速度を考慮したすべり速度・状態依存摩擦則を用いたシミュレーションを実施し、観測される SSE を再現するようにパラメータを調節しつつ SSE 発生モデル化を進めるとともに、巨大地震発生前後におけるスロー地震活動の発生間隔等の発生様式における長期的・短期的変化を抽出する。また、豊後水道長期的 SSE に伴って発生する誘発現象についても、パラメータ調節によって観測された現象を再現可能なモデル化を進め、2016 年に発生すると予想される長期的 SSE の観測結果に基づいて、モデルの検証・改訂を行なう。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度は、年次計画に基づいた機動的調査観測を実施したとともに、房総半島や豊後水道におけるスロー地震をモニタリングし、発生状況の把握を行なった。また、既存観測データを用いたスロー地震活動様式の特徴把握を行なった。

1. モニタリング精度向上とプレート境界すべり現象解明

1(1) 豊後水道における隣接すべり現象間の相互作用の解明

[GPS 観測]

豊後水道周辺および島嶼部の 5 か所に機動的 GPS 観測点を設置し、国土地理院 GEONET のデータを加えて長期的 SSE のすべり分布の時空間発展を推定するためのモニタリング体制を構築した。

平成 27 年度に新設した 5 か所の観測点は、平成 28 年度もほぼ欠測なしでデータが取得されており、長期間に渡る地殻変動データが蓄積されつつある。平成 28 年度は愛媛県伊方町に機動的 GPS 観測点を新設し観測を開始した。この観測点も携帯電話端末を取り付けたモバイルルータを設置することで、外部から毎日定期的にデータを収録できるようになっている。その他に 5 地点に機動的 GPS 観測点を設置する準備がすすめられているが、海象の影響や設置許可の問題で作業が遅れており、本格的な観測データの取得は来年度に持ち越しとなる。

回収されたデータを周囲の GEONET 観測点や海上保安庁のデータと一緒に精密単独測位法 GIPSY-OASIS 6.3 を用いて解析した。本研究課題で新設された機動的 GPS 観測点で求められた日々の座標のグラフを図 1 に示す。フィリピン海プレートの沈み込みにもなう西方向の通常的地殻変動変位のほか、2016 年 4 月に発生した熊本地震による coseismic な変位や余効変動が見られる。図 2 に 2015 年 10 月から 2016 年 10 月にかけて、豊後水道およびその周辺の GPS 観測点で記録された地殻変動を示す。赤色のベクトル点が、本研究で新設された機動的 GPS 観測点での結果を示す。ベクトル矢印の先端の楕円が推定誤差を示しており、今回設置した 5 か所のデータの精度は、GEONET と遜色ない安定性をもっていることがわかる。

2015 年 12 月ごろから四国南部を中心に長期的 SSE の可能性のある小さな地殻変動が観測された。しかしながらその変動量や推定されたモーメントマグニチュードは、豊後水道で想定されている長期的 SSE の数分の 1 しかなく、本格的な長期的 SSE は 2017 年以降に発生すると予測される。

[陸域地震観測]

豊後水道では、上述の通り 2015 年 12 月ごろから小規模な SSE が観測されているが、この SSE に伴う深部低周波微動や深部超低周波地震の活動の増加は観測されておらず、今回の SSE の滑り域は四国の南西端に推定されており、深部スロー地震の震源域と離れていたためと考えられる。一方、2014 年に発生した小規模 SSE については、深部低周波微動活動を伴ったと考えられるが、その滑り域は今回の SSE の北側で深部低周波微動域に隣接しており、長期的 SSE と微動との相互作用は両者の震源間距離に依存することが明らかになった。

豊後水道周辺地域で、プレート境界面に仮想震源を置き、その理論波形をテンプレートとしてマッチドフィルター法を用いて、2004 年から 2016 年まで深部超低周波地震の検出を実施した。その結果、豊後水道では 2010 年と 2014 年の長期的 SSE に対応する深部超低周波地震の活動増加が明瞭に捉えられた。一方、豊後水道より東側の愛媛県西部では SSE と深部超低周波地震活動との対応があまり見られず、相互作用の距離依存性を示している。ところで、愛媛県西部で検出された深部超低周波地震活

動が、2014年以降顕著に低下していることが分かった。原因はまだ解明されていないため、今後も注意深く、観測を継続・強化する必要がある。

愛媛県南部及び高知県西部の合計3点における広帯域地震計臨時観測を継続するとともに、来年度に大分県東部および愛媛県西部に新設する臨時観測点の地点調査を開始した。南海トラフ近傍で発生する浅部超低周波地震の解析を行った結果、発生間隔やサイズの統計分布が普通の地震とは異なることが分かった。豊後水道から南海トラフにかけての超低周波地震自動解析に向けて、理論波形計算方法の検討を行った。

[海域観測]

平成28年度は、豊後水道南方のプレート境界浅部領域に構築した海底地震・圧力計アレイによる観測を継続した。海底地震・圧力計の回収と再設置は、2017年2月に実施の予定である。なお、この観測は、平成25年度に開始した文部科学省委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」と連携して行われている。これまでに回収したデータから、低周波微動の震央分布を求めた。2014年は、6月1日から3日までの小規模な活動が見られ、その震央は、2013年の活動領域(Yamashita et al., 2015)の中に分布する(図3)。2015年にはさらに規模の大きな低周波微動活動が確認されている。

1(2) 東海地域における長期的・短期的SSEの時空間変化の推定手法の高度化とプレート間すべりの解明

年次計画に基づき、昨年度に引き続き、今年度も静岡県内55点、愛知県内5点の計60点で観測を継続している。昨年度の成果発表に引き続き、今年度は2013年頃からはじまった長期スローイベントの解析を進めた(Sakaue et al., 2016; 坂上他, 2017)。本研究は今年度から京大防災研との共同研究として行っている。

2013年頃からはじまったと言われる長期スローイベントに関して、時間発展インバージョンを用いた解析を実施した。本研究は、今次の研究計画に記載されている「長期的SSEが発生した場合にはその滑りパラメータの高精度推定を行う。前期の研究に基づき、短期的SSEと長期的SSEの特性を比較し、場の物理特性の違い等を解明する。」に対応する研究である。

今年度は昨年度までの研究に比べ解析期間を延ばし、2013年1月1日から2015年12月31日までのデータを用いた。また、解析手法においては、時系列の季節成分がGNSSのアンテナ、受信機、レドームの交換や伐木の作業の際に変化することに着目し、これらの作業が行われた日で三角関数の振幅を可変とする様に改良してより効果的に季節成分の推定と除去が行えるようにした。

インバージョン解析には、昨年同様Fukuda et al. (2008)によって開発された改良型の時間発展インバージョン手法を用いた。この結果、2013年1月1日から2015年12月31日の期間の最大積算すべり量は約6.5cm(図4)、モーメントマグニチュード(図4赤色四角内)は約Mw6.5と推定された。また、この領域での解放モーメントの時間発展は図5赤線で示され、急激に加速した期間が見られた。この期間は、長期SSEと同時推定に成功した複数個の短期SSEの中で、特に規模の大きかった2014年1月と2015年4月の短期SSE(図6、8)の発生した期間を含んでいる。図4、図6、図8より、長期SSEのすべりの中心付近(図4の青色四角内)での解放モーメントの時間変化(図5の青色線)は、短期SSEの発生領域(図4の桃色四角内)での解放モーメント(図5の桃色線)にかかわらずほぼ一定であることがわかった。また、本研究で推定された結果から、短期SSEによるすべりの加速に伴って低周波微動(LFT)の発生が誘発されたことも示唆される(図7、9)。

1(3) 房総SSEと群発地震活動との相互作用の解明

[GPS観測]

千葉・茨城県内の太平洋沿岸で行っているGNSS連続観測を継続した。今年度は新たなSSEによる地殻変動は見られなかった。

過去に発生した房総SSEのメカニズムの理解に向けて、GNSSデータから推定されたSSE発生時のすべりや応力の時空間発展を速度・状態依存摩擦構成則に基づいてモデル化した。今年度は1996年のSSEを対象とした。昨年度までに報告したGNSSデータのインバージョン解析により、SSE発生時のすべり速度とすべりの時空間変化が推定されている。まず、すべりの推定結果に基づきプレート境界

面上における応力の時空間変化を計算した。次に、速度・状態依存摩擦構成則の式において、すべり速度をインバージョン解析からの推定値に固定し、摩擦パラメータ $L, a \cdot \sigma, (b-a) \cdot \sigma$ (σ は有効法線応力) 及び状態変数の初期条件を未知パラメータと仮定した。この仮定の下で摩擦構成則の式を数値的に計算し、インバージョン解析から求められた応力の時空間変化を再現できるような未知パラメータを推定した。結果を図 10 に示す。応力の時空間変化は速度・状態依存摩擦構成則で良く説明できることが分かる。推定されたパラメータから、SSE 発生域における臨界断層長(半径)は 30~50km 程度と見積もられる。インバージョンから推定された SSE のすべり域の半径は臨界半径と同程度かそれよりもやや小さい。これは SSE の発生が条件付安定の摩擦特性に支配されていることを示唆する。

[地震観測]

房総沖で繰り返し発生しているスロースリップ域で発生する地震活動をモニタリングした。今年度は、スロースリップイベント発生域で地震活動及び相似地震活動がいくつか見られた。これらの活動は、6月から9月ころにかけて小規模なゆっくりすべりが生じた可能性を示唆している。これまでのスロースリップイベント間と同様に地震活動が推移するならば、このゆっくりすべりが終了した後1年程度地震活動の低調な時期が続き、その後次に次のスロースリップイベントが発生すると考えられる。

1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

西南日本に発生するスロー地震の活動様式などをもとに、スロー地震が巨大地震に対して果たす役割を次の3つの可能性としてまとめた(Obara and Kato, 2016)。

1. Analog (類似現象): スロー地震の活動様式が巨大地震と類似し、さらに高頻度で発生することから、巨大地震の発生様式を理解するためのヒントを与える可能性。
2. Stress meter (応力状態を反映するインジケーター): スロー地震は周囲の応力変化に敏感であるため、巨大地震震源域における応力蓄積の状況に応じて、スロー地震の活動様式が変化する可能性。
3. Stress transfer (周囲への応力載荷): スロー地震の発生によってその周囲に応力を載荷することがあるため、隣接した巨大地震震源域における断層破壊を促進する可能性。

今後もスロー地震の活動を継続的にモニタリングし、その活動様式や発生原因の解明を進めることにより、巨大地震の発生過程に関する理解の進展にも繋がることが期待される。

深部低周波微動の輻射エネルギーを定量的に評価する目的で、昨年度までに新たな手法を開発し、西南日本における時空間分布などの微動活動全体像に関する評価を行なった(図 11, Annoura et al., 2016)。その結果、微動エネルギーレートは豊後水道域で 2010 年と 2014 年に定常時に比べて値が 2~3 倍程度に増加しており、豊後水道長期的 SSE の発生に伴う応力擾乱の影響を定量的に明らかにした。また、微動エネルギーレートとプレートの沈み込み速度を沈み込むフィリピン海プレートの走向方向で比較すると、いずれも紀伊水道を境とした西側の四国で高く、東側の紀伊・東海で低いという対応関係を見出した。一つの解釈としては、プレート沈み込み速度が速い地域ではプレート境界でより多くひずみが蓄積し、その結果、微動活動も活発となることが考えられる。

深部低周波微動発生域では、短期的 SSE を伴う微動活動の他に、遠地震の表面波によってトリガーされる誘発微動が知られているが、その詳細な活動様式を解明する目的で、マッチドフィルター法による誘発微動の検出を行なった。その結果、紀伊半島北東部の誘発微動スポットでは、誘発微動が検出されたすべてのケースで、最も浅い側からダウンディップ方向に 5~20 km/h で移動するのに対し、四国西部のプレートディップ方向に線状に伸びるスポットで誘発微動が頻繁に発生し、その移動速度は 40~1200 km/h もの幅を持っていることがわかった。

1(5) 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

[重力観測]

前年度に引き続き、スロースリップに伴う流体移動の検出を目的とした重力観測を継続している。今年度の絶対・相対重力観測は、11月に御前崎1点、1月に宮崎1点、2月に東海2点(菊川・豊橋)及び豊後水道1点(足摺岬)で実施した。これにより、2013年から始まった東海の長期的スロースリップ中の重力変化を観測することができた。図 12 に東海で得られたこれまでの絶対重力観測データを示

す。ただし、今年度の観測結果は解析中のため示していない。また、石垣島での超伝導重力計による連続観測も継続している。平成26年度から開始した、重力観測データの解釈を補佐するための石垣島・西表島のスロースリップ域における全磁力及び3成分磁力の観測は現在も継続中であり、機器のトラブルにより中断した期間もあるものの、良好なデータが蓄積しつつある。スロースリップのモデリングと重力観測手法の高度化について2編の論文で発表した (Ide et al., 2016; 田中, 2016)。

[電磁気観測]

2015年6月より、愛媛県内の2観測点(窪野観測点と菊川観測点, 図13参照)でオフラインの磁場3成分観測を開始し、ノイズの少ない良好な磁場が観測されていることを確認した。一方で、愛媛県と高知県にわたる17エリア内に、総計58点の電極を埋設し(図13参照)、2016年3月よりNTTメタリック通信回線網を用いたネットワークMT長基線地電位差連続観測を開始した。

今年度においては、上記の磁場と長基線地電位差の観測を継続し、まず地電位差と磁場との間のネットワークMT周波数応答関数を求め、その推定の安定性を調べた。図14では、愛媛県松野エリアにおける2016年4月、5月のそれぞれ1か月間のデータを用いて推定した応答関数を重ねて示している。周期64秒から44,000秒にわたって、滑らかな良好な応答関数が安定して推定されていて、2期間の応答関数はほぼ重なってプロットされている。これらの応答関数をインバージョンにかけることによって、比抵抗構造が推定される。また、比抵抗構造の変化は、これらの応答関数の時間変化としてとらえられることになる。なお、本観測の実施にあたっては、西日本電信電話株式会社からの多大なるご支援を頂きました。

1(6) 海域観測に基づくスロースリップと誘発現象との相互作用の解明

スロースリップに伴う上下地殻変動を観測する目的で、昨年度に引き続き2台の海底圧力計の設置回収作業を熊野灘で実施した。設置点は、海底ケーブル式観測網(DONET)の海底圧力計よりも沖側で、一台は陸側斜面、もう一台は沈み込むフィリピン海プレート上とした。平成27年度に設置した機材の1台については、自己浮上方式で回収を行うことができなかったが、残りの1台については回収することができた。また、平成26年度に回収できなかった圧力計1台を回収することができた。また、海底圧力計の観測記録から年周、半年周および四半期年周の成分を取り除く方法の開発を行うことで、微小な地殻変動の抽出の可能性を示した。また、海底地震計記録から微動を抽出する手法の開発を行い、東北地方太平洋沖地震前にスロースリップに伴い誘発された微動活動の検出に成功した。また、スロースリップに伴う構造の変化を地震波干渉法により抽出することにも取り組み、スロースリップ域内にてスロースリップの発生に伴い海底地震計記録から求めた自己相関関数が急激に変化することを見出したことに加えて、最大前進の発生域内で最大前震発生の三ヶ月ほど前から徐々に自己相関関数が変化していることを見出した。

1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

摩擦構成則に従う余効すべりとマンツルの粘弾性応力緩和を組み合わせた余効変動の物理モデルを用いて、2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動のモデルの構築を行った。このモデルでは地震時の応力変化により余効すべりと粘弾性緩和が引き起こされると仮定しているため、地震時のすべり分布がモデルの入力となる。これに加えて、摩擦パラメータ $(a-b) \cdot \sigma$ 、プレート境界面の固着域の分布、マンツルの粘性率、プレート及びスラブの厚さ等も余効変動の時空間的なパターンに影響を与える。これらのパラメータを変化させたときのモデル計算値と陸上のGNSS及び海底地殻変動データを比較し、観測データを説明できるパラメータ値の推定を行った。図15にマンツルの粘性率及びプレート境界面の摩擦パラメータ $(a-b) \cdot \sigma$ を空間的に一様とし、プレート境界面に固着域を設定しない場合の計算結果を示す。モデルは陸上・海底の水平変位と陸上の上下変位を概ね説明できるが、海底の上下変位を説明できない。モデルの入力パラメータを変化させて各パラメータの余効変動計算値への影響を検討したところ、海底の上下変位はこれらのパラメータに敏感であることが分かった。従って、海底の上下変位も説明できるモデルについては、さらに検討が必要である。なお、地震時すべり分布の余効変動計算値への影響については、課題1803で報告する。

2. プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出とスロー地震・巨大地震の

相互作用シミュレーション

2(1) プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出

2015年度に紀伊半島北東部の深部低周波微動が明瞭な領域を通る「甲賀 南伊勢測線」(図16)で取得した稠密自然地震観測データを使用し、プレート間の滑り現象を規定する構造不均質を明らかにする目的で、地震波速度構造解析、地震波減衰構造解析を実施した。地震波速度構造解析には、Double-Difference Tomography法(Zhang and Thurber, 2003)を使用し、気象庁一元化震源カタログにある観測期間中に測線から50 kmの範囲内で発生した275個の地震を、稠密地震観測点(90点)と定常観測点(116点)で観測したデータから得た初動走時データを用いて実施した。トモグラフィ解析の初期モデル、観測点補正值には、連携震源決定法(Kissling et al., 1994)を適応することで得た結果を使用した。また、得られた速度構造と研究対象領域の地震活動度との検討を行うために、本研究で得た定常観測点の観測点補正值と地震波速度構造を用いて、2000年1月1日から2015年5月25日までの気象庁一元化処理震源の検測値を用いた震源再決定を行った。トモグラフィ解析により得られた「甲賀 南伊勢測線」下の V_p/V_s 構造を図17に示す。地震波減衰構造解析には、「甲賀 南伊勢測線」で得られた稠密自然地震観測データに、2009 - 2010年に紀伊半島南部で実施した稠密自然地震観測(Kurashimo et al., 2014)、2010 - 2011年に紀伊半島西部で実施した稠密自然地震観測(Kato et al., 2014)のそれぞれで取得した波形データと研究対象地域の定常観測点で得られている波形データを加えて実施し、紀伊半島下の3次元地震波減衰構造の推定を行った。特に東部の稠密地震観測データが加わったことにより、これまで空間的分解能が高くなかった紀伊半島東部下の深部低周波地震発域周辺の減衰について、新しい結果が得られた。減衰構造の推定はTsumura et al.(2000)の同時インバージョン法を用い、172点の観測点で得られた302個の地震の初動1秒に対する波形スペクトル11098個から研究対象地域の Q 値の分布を推定した。空間を東西11個、南北9個、深度方向6個に分割したブロックが周波数依存しない Q 値を持つとして値を推定し、それを各ブロックの重心での代表値として平滑化して描画した。図18に各深度で得られた減衰構造を、図19に「甲賀 南伊勢測線」下の減衰構造を示す。

本研究で得られた地震波速度構造、再決定した震源分布をIwasaki et al.(2008)によって示された「甲賀 南伊勢測線」下のフィリピン海プレートの形状と比較すると(図17)、沈み込む海洋性地殻下の上部マントル内には、モホ面と平行な北傾斜の震源分布を確認できる。深部低周波地震は、沈み込むフィリピン海プレートが島弧下のマントルウエッジと接する近傍で発生し、フィリピン海プレートのモホ面に確認できる北傾斜の震源分布とフィリピン海プレート上面との間で活動度が高くなっている。深部低周波地震発生域の地震波速度は、 P 波速度が低下し、 V_p/V_s 値は大きくなる特徴を示している。特に V_p/V_s 値は、モホ面下の普通の地震発生が発生している近傍とマントルウエッジ内で大きくなる傾向がみられる。「甲賀 南伊勢測線」下の地震波減衰構造(図19)からは、深さ15 km付近まで Q_p が200~600程度を示しやや減衰が強い傾向がみられる。その下の深さ15~25 kmでは Q_p が800程度となり地震波は減衰しない。そして深部低周波地震が群発している領域では、また Q_p が400程度になり減衰する傾向が確認できる。これら得られた地震波速度構造、減衰構造から、プレート間の滑り現象を規定する地下構造の異常が、低周波地震の発生域やその近傍に存在することが明らかになった。また、それらの地震学的特徴から、低周波地震の発生域には流体の存在が示唆され、沈み込むプレートの脱水作用によって生成された流体が低周波地震の発生に寄与していると考えられる。

2(2) スロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

潮汐の影響を取り入れたスロースリップイベントの数値シミュレーション研究を行った。平板のプレート形状をもつモデルにおいて、スロースリップイベントの発生時期が、実際の潮汐程度の応力変化によって影響されることを示した。さらに、四国地域のプレート沈み込み形状および短期的スロースリップイベントの発生域を考慮したモデルに、潮汐に伴う応力変化を加えた数値シミュレーションに着手した。現在の予備的結果では、四国東部の比較的孤立したパッチの領域で、潮汐の導入によりスロースリップイベントの発生間隔のばらつきが小さくなる傾向がみられている。

- Annoura, S., K. Obara and T. Maeda, 2016, Total energy of deep low-frequency tremor in the Nankai subduction zone, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 2562-2567, doi:10.1002/2016GL067780
- 案浦理・小原一成・前田 拓人, 2016, Total energy of deep low-frequency tremor in the Nankai subduction zone, SCG21-P01, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ, 千葉市, 5 月 20 日 - 25 日 .
- Hata, M., M. Uyeshima, S. Handa, M. Shimoizumi, Y. Tanaka, T. Hashimoto, T. Kagiya, H. Utada, H. Munekane, M. Ichiki and K. Fuji-ta, 2017, 3-D electrical resistivity structure based on geomagnetic transfer functions exploring the features of arc magmatism beneath Kyushu, Southwest Japan Arc, *J. Geophys. Res.*, 122, doi:10.1002/2016JB013179.
- Ide, S., S. Yabe and Y. Tanaka, 2016, Earthquake potential revealed by tidal influence on earthquake size-frequency statistics, *Nature Geoscience* 9, 834-837, doi:10.1038/ngeo2796.
- Katakami, S., Y. Ito, K. Ohta, R. Hino, S. Suzuki, and M. Shinohara, 2016, Detecting tectonic tremor through frequency scanning at a single station in the Japan Trench subduction zone, SSS02-P03, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Chiba, Japan, 20-25 May.
- 片上智史, 伊藤喜宏, 太田和晃, 日野亮太, 鈴木秀一, 篠原雅尚, 2016, 2011 年東北地方太平洋沖地震発生前に海溝軸近傍で発生する Low Frequency micro Tremor, S09-06, 日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 10 月 5 日-7 日 .
- Katakami, S., S. Ito, K. Ohta, R. Hino, S. Suzuki, and M. Shinohara, 2016, Micro low-frequency tremor near the Japan Trench before the Tohoku-Oki earthquake, S41C-06, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.
- Kurashimo, E., T. Iidaka, N. Tsumura, and T. Iwasaki, 2016, Subduction structure beneath the eastern part of the Kii Peninsula, southwestern Japan, revealed by dense seismic array observation, T31D-2931, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.
- 栗原亮・小原一成・竹尾 明子・前田 拓人, 2016, Detection of deep low frequency tremor triggered by teleseismic surface wave based on matched filter technique, SCG21-P02, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ, 千葉市, 5 月 20 日-25 日 .
- 栗原亮・小原一成・前田拓人・竹尾明子, 2016, 西南日本における遠地地震による誘発微動の移動現象, S08-08, 日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 10 月 5 日-7 日 .
- 村本智也・伊藤喜宏・稲津大祐・日野亮太・鈴木秀一, Stuart Henrys, Stephen Bannister, Laura Wallace, 2016, 海底観測によるヒクラング沈み込み帯で発生するスロースリップイベントの検出, S03-P04, 日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会, 名古屋市, 10 月 5 日-7 日 .
- Muramoto, T., Y. Ito, D. Inazu, S. Henrys, L. Wallace, S. Bannister, K. Mochizuki, R. Hino, and S. Suzuki, 2016, Detection of Shallow Slow Slip events on the Northern Hikurangi Margin using Ocean Bottom Pressure Recorders, S43-D01, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.
- Obara, K. and A. Kato, 2016, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science* 353 (6296), 253-257, doi:10.1126/science.aaf1512.
- 小原一成・高木涼太・山下裕亮・浅野陽一・松澤孝紀・田中佐千子・廣瀬仁・前田拓人, 2016, 豊後水道周辺域におけるスロー地震の相互作用, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SCG21-05, 幕張メッセ, 千葉市, 5 月 20 日-25 日 .
- Sakaue, H., J. Fukuda, T. Kato and T. Nishimura, 2016, The slow slip event in the Tokai region, central Japan, since 2013 as seen from GPS data, International Symposium Crustal Dynamics 2016- Unified Understanding of Geodynamic Processes at Different Time and Length Scales - (Abstract), 19-22 July 2016, Takayama, Japan.
- 坂上啓・福田淳一・加藤照之・西村卓也, 2016, GPS データに基づく 2013 年以降の東海地方スロースリップイベントの時空間発展の推定, 日本測地学会第 126 回講演会要旨集, 日本測地学会, 057, 113-114 .

- Sakaue, H., J. Fukuda, T. Kato and T. Nishimura, 2016, The slow slip event in the Tokai region, central Japan, since 2013 as seen from GPS data, S33A-2814, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.
- 坂上啓・福田淳一・加藤照之・西村卓也, 2017, GNSS データに基づく 2013 年以降の東海地方スロースリップイベントの時空間発展の推定, 平成 28 年度京都大学防災研究所研究発表講演会予稿集, 京都大学防災研究所, P26 .
- 竹尾明子・小原一成, 2016, Swarm of shallow very low frequency earthquakes in the Bungo channel region in 2015 observed by temporal broadband seismic stations in the Shikoku island, southwest Japan, SCG21-P08, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ, 千葉市, 5 月 20 日 - 25 日 .
- 竹尾明子・前田拓人・小原一成, 2016, 西南日本における遠地地震による誘発微動の移動現象, S08-P10, 日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 10 月 5 日-7 日.
- 田中愛幸, 2016, 重力ポテンシャル差計としての光格子時計の地球物理応用の可能性, 光学, 45, 259-263.
- 植村美優・伊藤喜宏・太田和晃・日野亮太・篠原雅尚, 2016, 常時微動を用いた地震波干渉法によるスロースリップに伴う地震波速度変化検出の試み, S01-P05, 日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 10 月 5 日-7 日 .
- Uemura, M., Y. Ito, K. Ohta, R. Hino, and M. Shinohara, 2016, A Trial for Detecting the Temporal Variation in Seismic Velocity Accompanied by a Slow Slip Event, Using Seismic Interferometry of Ambient Noise, T21C-2839, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.
- 山下裕亮・篠原雅尚・山田知朗・中東和夫・塩原肇・望月公廣・前田拓人・小原一成, 2016, Long-term ocean bottom monitoring of slow earthquakes on the shallow plate interface in the Hyuga-nada region (3), 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SCG21-P04, 幕張メッセ, 千葉市, 5 月 20 日-25 日 .
- Yamashita, Y., M. Shinohara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, 2016, LONG-TERM OCEAN BOTTOM MONITORING OF SLOW EARTHQUAKES ON THE SHALLOW PLATE INTERFACE IN HYUGA-NADA, WESTERN PART OF THE NANKAI TROUGH, 9th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes, June 2016, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, USA.
- 山下裕亮・八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・後藤和彦・馬越孝道・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・山田知朗・篠原雅尚, 2016, 南西諸島北部の海溝軸付近で発生する浅部低周波微動について, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, S09-P07, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 10 月 5 日-7 日 .

(10) 平成 29 年度実施計画の概要:

1. モニタリング精度向上とプレート境界すべり現象解明

1(1) 豊後水道における隣接すべり現象間の相互作用の解明

[GPS 観測]

現在設置準備中の 5 地点の機動的 GPS 観測点の本格的な観測を開始する。さらに 4 地点程度増設することを検討する。既設の機動的 GPS 観測点によるモニタリングを継続し、長期的 SSE が発生した場合には、国土地理院 GEONET のデータを加えてすべり分布の時空間発展を推定する。

[陸域地震観測]

愛媛県南部及び高知県西部の合計 3 点における広帯域地震計臨時観測を継続するとともに、大分東部および愛媛県西部の合計 3 カ所に新設する広帯域地震計観測点のデータも加え、豊後水道から南海トラフにかけての超低周波地震活動をモニタリングするための準リアルタイム自動解析システムを構築する。深部超低周波地震の発生間隔やサイズ分布についても、普通の地震との違いを解明する。長期的 SSE が発生した場合には、それに伴って発生することが予想される超低周波地震等のスロー地震の解析を進める。

[海域観測]

平成 29 年度も引き続き、豊後水道南方のプレート境界浅部に設置した広帯域海底地震・圧力計を用いた観測を継続する。平成 29 年夏頃に、豊後水道南方のプレート境界浅部に設置した広帯域海底地震・圧力計を回収し、観測域を種子島東方に変更して、長期の海底地震観測を実施する予定である。また、これまでに回収した広帯域海底地震・圧力計の解析を実施する。

1(2) 東海地域における長期的・短期的 SSE の時空間変化の 推定手法の高度化とプレート間すべりの 解明

1 . 静岡・愛知に設置されている GNSS 観測網の観測に基づく地殻変動のモニタリングを継続する。
2 . 長期的 SSE が継続することが期待されるため、この滑りのパラメタの高精度推定を行う。特に、短期的 SSE と長期的 SSE が同時に発生しているとの予察成果が得られていることから、これらの関係性について調査をすすめる。

1(3) 房総 SSE と群発地震活動との相互作用の解明

[GPS 観測]

GNSS 連続観測を継続する。今年度の解析を継続するとともに、同様の解析を 2002、2007、2011、2013-2014 年の SSE に対して実施し、SSE 発生域の摩擦特性を推定する。

[地震観測]

房総半島内の MeSO-net (大大特) 観測点を維持するとともに、地震観測データを活用し、既存の地震観測データを含めて定常的な地震活動の把握を行う。2017 年後半には次の房総沖 SSE の発生が予測される。房総沖 SSE が発生した場合には、それに伴う群発地震活動の高精度震源決定を行い、SSE すべり域との時空間的關係を明らかにする。

1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

これまでに整備された深部低周波微動自動検知システムによって構築されるカタログ等に基づき、微動活動様式の再評価を行ない、時空間分布などの全体像を明らかにするとともに、微動域のセグメント構造、周期性、移動性、トリガリングなどの微動活動様式の特徴抽出と解明を進める。

1(5) 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

[重力観測]

南海トラフに沿ったプレート境界域での絶対・相対重力観測を実施する。石垣島の超伝導重力観測と磁場観測を継続する。スロースリップ時のデータを蓄積するとともに、観測データの誤差低減手法に取り組む。スロースリップに及ぼす流体の効果を引き続きモデリングする。

[電磁気観測]

四国西部にて 3 成分磁場観測と長基線地電位差観測を継続し、スロースリップ時のデータを蓄積する。また、長基線地電位差と磁場水平成分間のネットワーク MT 応答関数から、広域深部比抵抗構造を推定し、構造とスロースリップや深部長周期地震発生域との関係を明らかにしていく。得られた構造に基づいて、地下の比抵抗変化の検知可能性を吟味する。応答関数の時間変化や電磁場そのものの時間変化をモニターし、スロースリップに伴う電磁気現象発現の有無を検討する。

1(6) 海域観測に基づくスロースリップと誘発現象との相互作用の解明

平成 28 年度に設置した 2 台の海底圧力計の回収および新たに 2 台の海底圧力計の設置作業を行う。特に、回収される 2 台の海底圧力記録と熊野灘の DONET の海底圧力計との併合処理を行い、スロースリップに伴う海底上下変動の検出を目指す。また、海底圧力変化と観測網周辺の地震活動との比較を行い、スロースリップと低周波微動および地震発生との関係を調べる。

1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

モデルパラメータの余効変動計算値への影響を引き続き検討し、その結果に基づき陸上・海底の水平・上下変動を説明可能なモデルを構築する。

2 . プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出とスロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

2(1) プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出

紀伊半島中央部の深部低周波微動が不明瞭な領域を通る和歌山県紀の川市から串本町に至る「紀の川 串本測線」(測線長：約 90 km)で約 6 か月間の稠密地震観測(観測点間隔：1 km)を実施する。また、測線下の詳細な P 波速度構造を得る為に、測線上で発破を実施する。

2(2) スロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

沈み込み形状を考慮した現実的なプレートモデルにおいて、潮汐に伴う応力変化を加えた数値シミュレーション研究をさらに進め、大地震発生サイクルスケールでの数値計算を行う。この数値計算研究から、大地震域への応力集中過程とスロー地震発生挙動の長期的変化の関連性を探る。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

小原一成・岩崎貴哉・酒井慎一・前田拓人・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・田中愛幸・今西祐一・大久保修平・上嶋誠・加藤照之・福田淳一・五十嵐俊博・酒井慎一・飯高隆・蔵下英司・加藤尚之・竹尾明子・加藤愛太郎・木下正高(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無：有

松島健(九州大学大学院理学研究院) 田部井隆雄・村上英記(高知大学理学部)
西村卓也・伊藤喜宏(京都大学防災研究所) 廣瀬仁(神戸大学大学院理学研究科)
日野亮太・三浦哲・高木涼太(東北大学大学院理学研究科) 津村紀子(千葉大学大学院理学研究科)
伊藤武男(名古屋大学大学院環境学研究科) 生田領野(静岡大学理学部)
原田靖・長尾年恭(東海大学海洋研究所) 浅野陽一・松澤孝紀・木村尚紀・武田哲也・汐見勝彦(防災科学技術研究所) 芝崎文一郎(建築研究所)
荒木英一郎(海洋研究開発機構)・塩崎一郎(鳥取大学大学院工学研究科)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：小原一成

所属：東京大学地震研究所

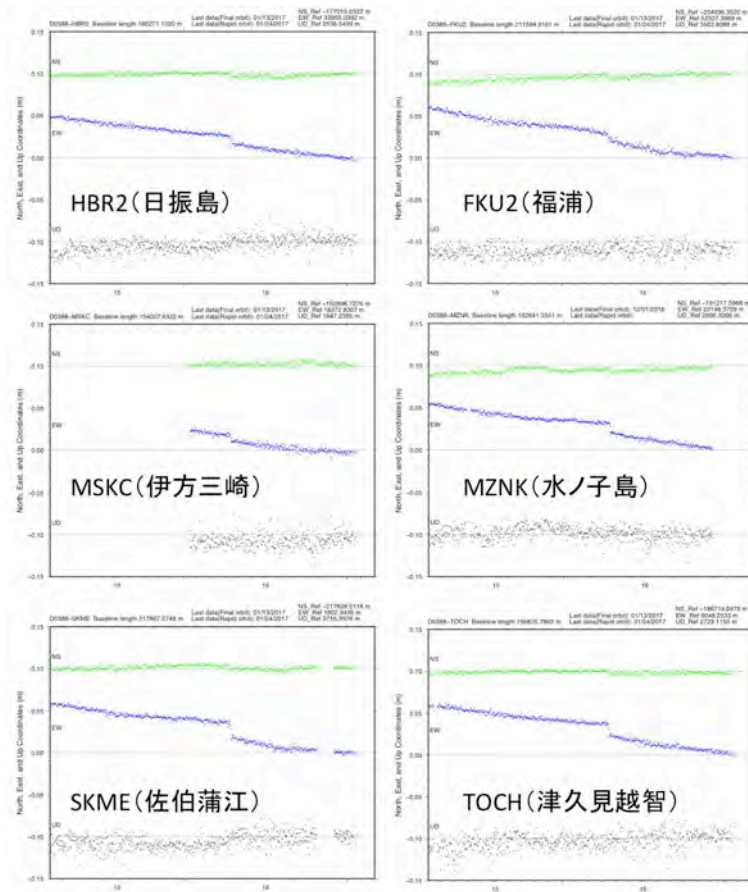


図 1. 本研究で設置された機動的 GPS 観測点で求められた日々の座標値のグラフ。

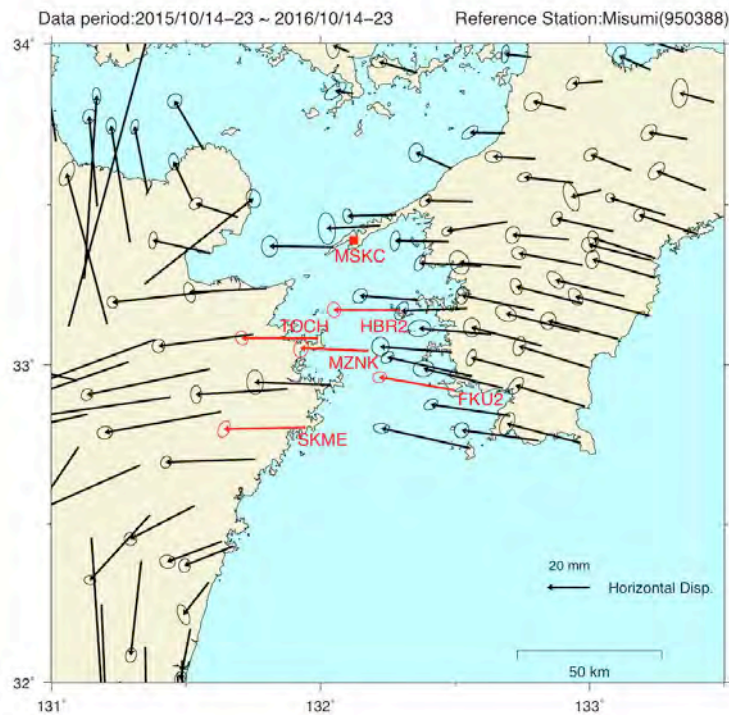


図 2. 豊後水道およびその周辺の GPS 観測点で記録された地殻変動。赤色のベクトル点が、本研究で新設された機動的 GPS 観測点での結果を示す。

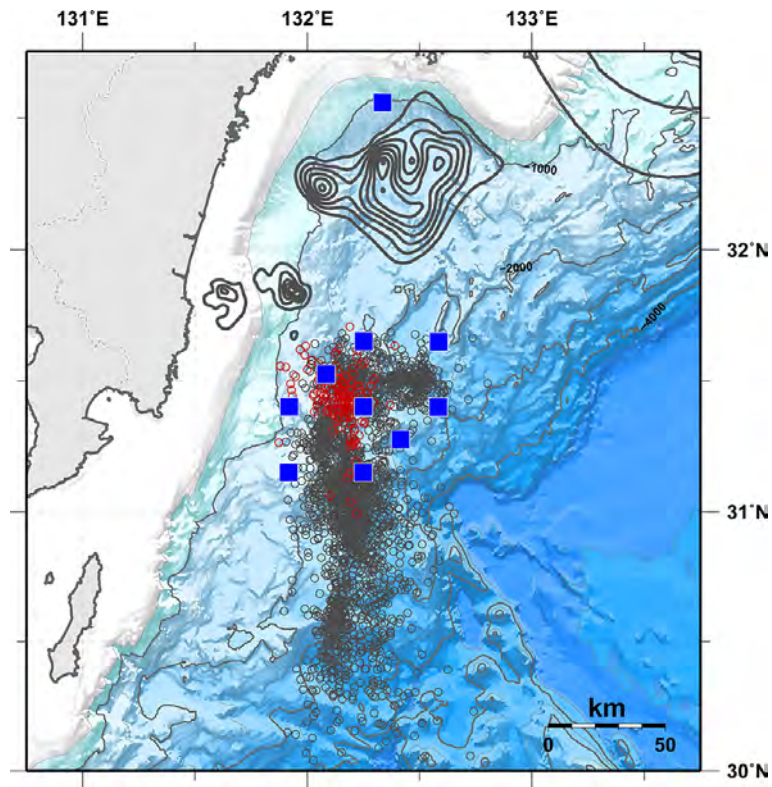


図3 . 2014年6月に活動した低周波微動の震源位置(赤丸)

この活動は3日間の小規模な活動であり、2013年に観測された低周波微動(灰色丸)活動領域内で発生した。青四角は、海底地震計の位置。昨年度再設置され、本年度回収した広帯域海底地震計(赤四角)と、観測期間中に気象庁により決定された地震の震央分布(灰丸)。灰色のコンターは1968年日向灘地震と1996年10月・12月の日向灘の地震の50cm毎のすべり分布(八木・他, 1998; Yagi et al., 1999) および1946年南海地震の2m毎のすべり分布(Sagiya and Thatcher, 1999)を示す。

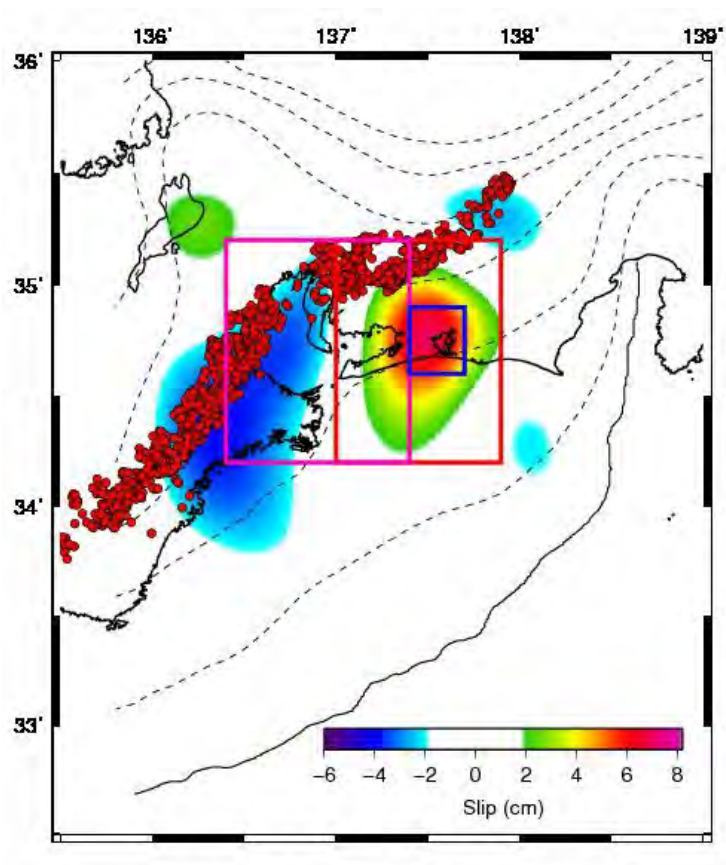


図4 . 2013年1月1日から2015年12月31日の積算すべり分布とLFTの震央分布 .

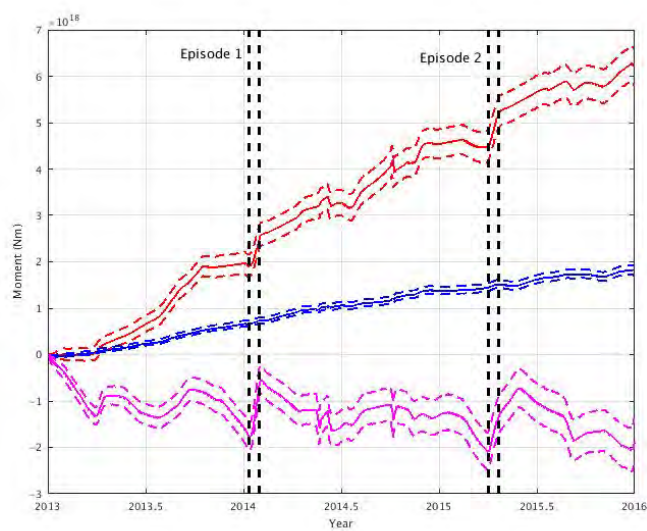


図5 . 図4で示す赤色、桃色、青色の領域における解放モーメントの時間変化。
Episode 1、Episode 2はそれぞれ2014年1月と2015年4月に発生した短期的SSEの期間を示す。

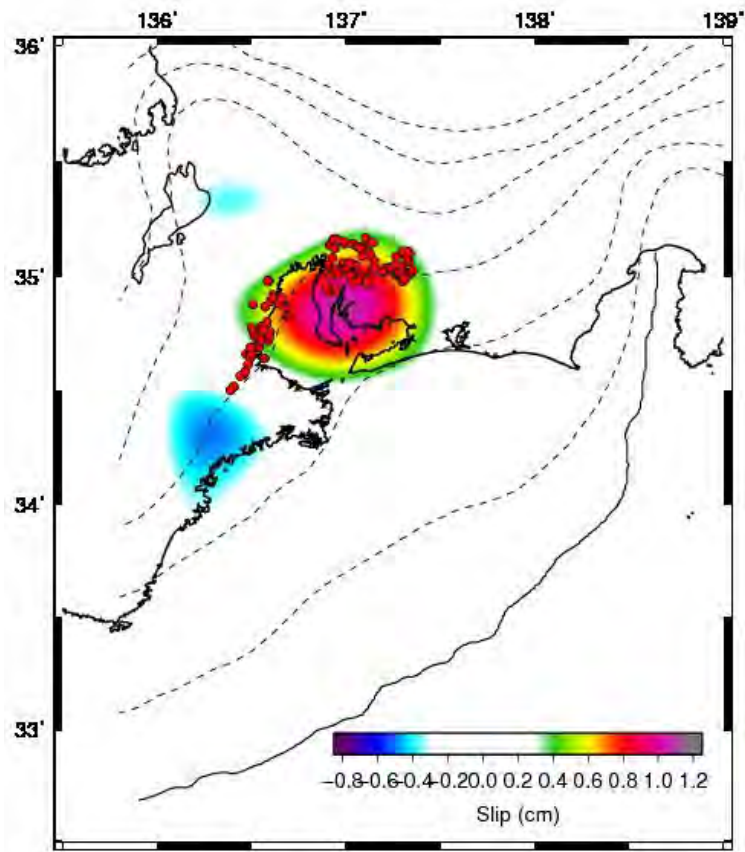


図6. 2014年1月17日から2月10日の積算すべり分布とLFTの震央分布。

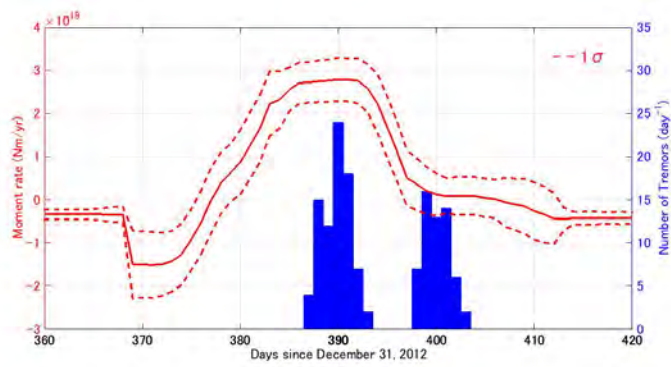


図7. Episode 1の期間のモーメントレートの時間変化とLFTの発生個数の比較。

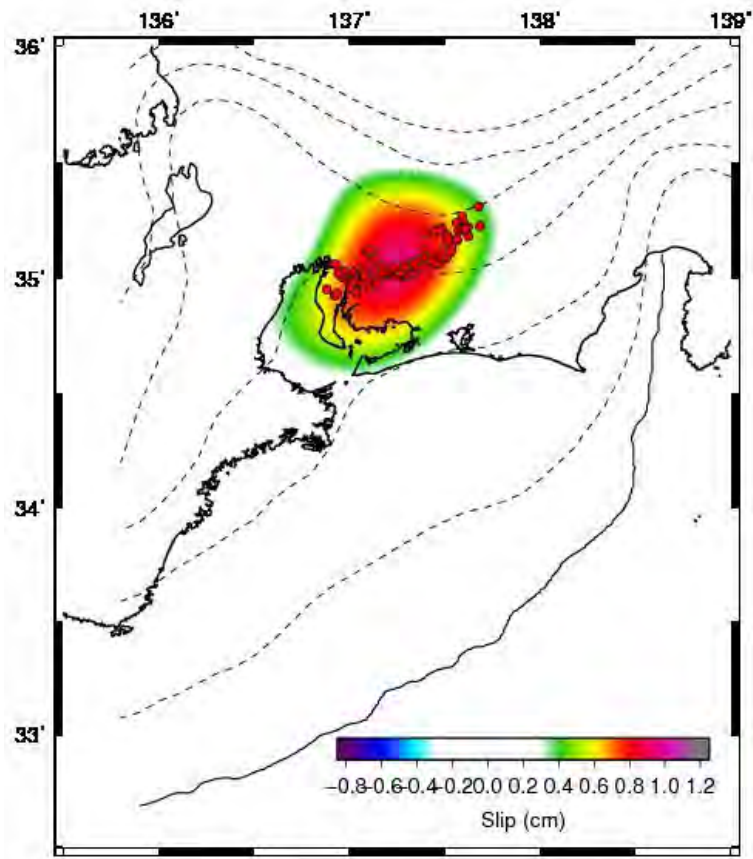


図 8. 2015 年 4 月 1 日から 4 月 30 日の積算すべり分布と LFT の震央分布。

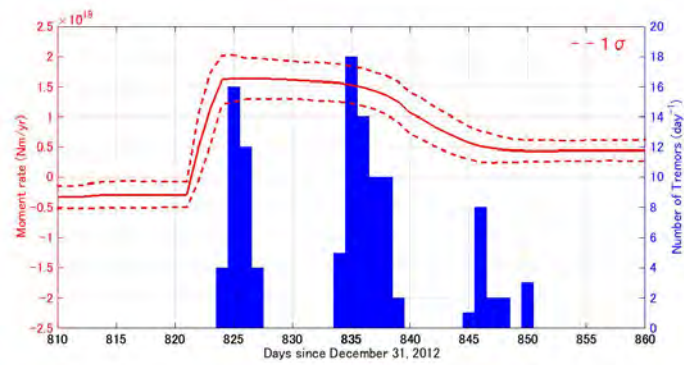


図 9. Episode 2 の期間のモーメントレートの時間変化と LFT の発生個数の比較。

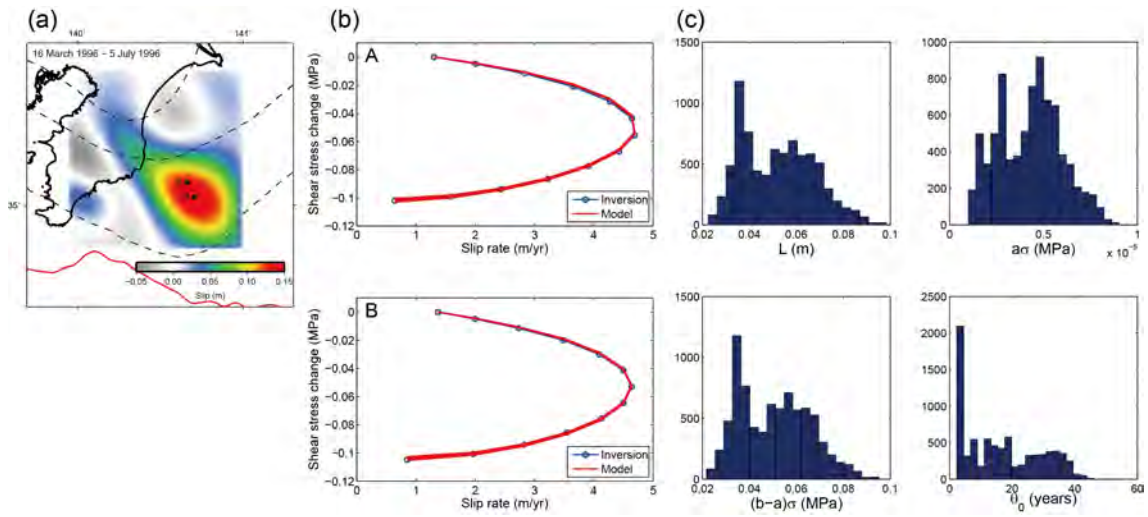


図 10. (a) 1996 年に発生した房総 SSE のすべり分布。(b) (a) に示したプレート境界面上の 2 点 A、B における剪断応力とすべり速度の関係。青線はインバージョン解析、赤線は摩擦構成則に基づくモデルによる応力とすべり速度の関係を示す。(c) 推定されたパラメータの分布。

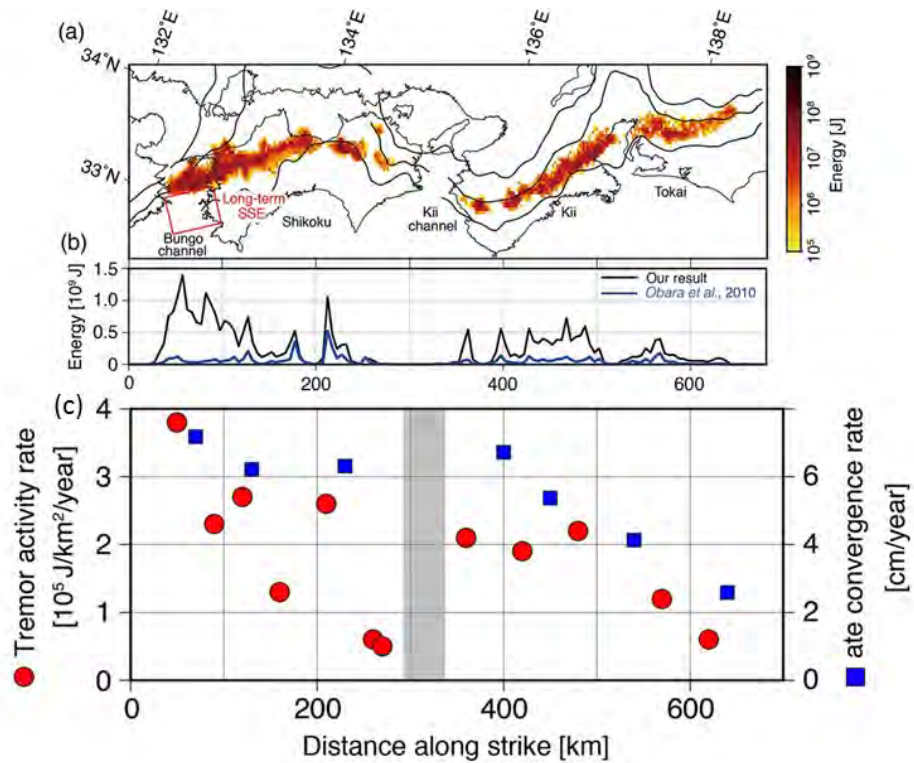


図 11. (a) 11 年間 (2004 年 4 月 ~ 2015 年 3 月) に発生した微動による累積エネルギーの空間分布。(b) 沈み込み帯の走向方向に対するエネルギー量のプロファイル。(c) フィリピン海プレートの走向方向に対する微動エネルギーレートとプレート沈み込み速度 [Heki and Miyazaki, 2001] の比較。

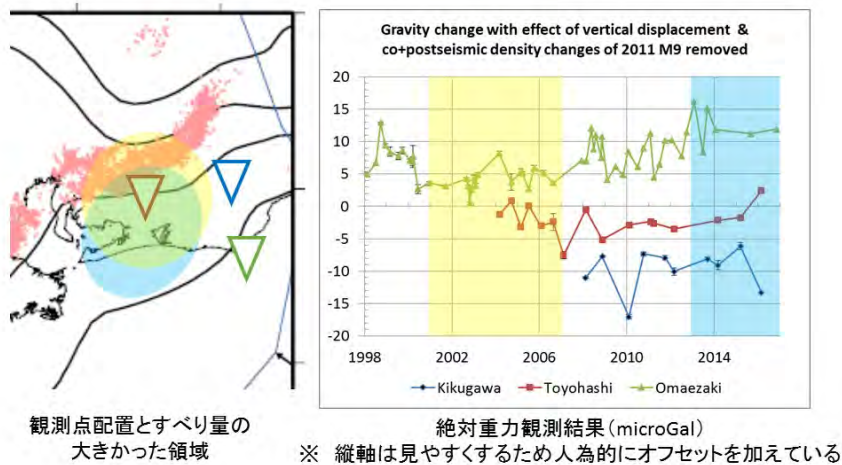


図 12. 左：御前崎（国土地理院地殻活動観測場） 菊川・豊橋（名古屋大学地殻変動観測所）の観測点。右：これまでの時系列データ。縦軸の単位はマイクロガル（1 マイクロガル = 10 億分の 1 G）。地殻上下変動と余効変動の影響は除去しているため、地下の質量変化を表す。豊橋では 2000 年東海スロースリップ収束期（2004-2006）に急激な重力減少が見られる。



図 13. 2016 年 3 月に設置を完了した NTT メタリック通信回線網を用いたネットワーク MT 観測点配置。データ収録装置設置地点を赤二重丸で示す。その周辺の小黄色で示した各地点に電極を埋設し、メタリック通信回線を用いてエリア内の電極間の地電位差変化を記録している。一方で、ピンクのブロックで示した 2 地点に磁力計を設置し、2015 年 6 月 11 日より 3 成分磁場観測を継続している。電化路線からの漏えい電流ノイズ状況を示すため、図中、青線は非電化鉄道路線、赤線は直流電化路線を示している。

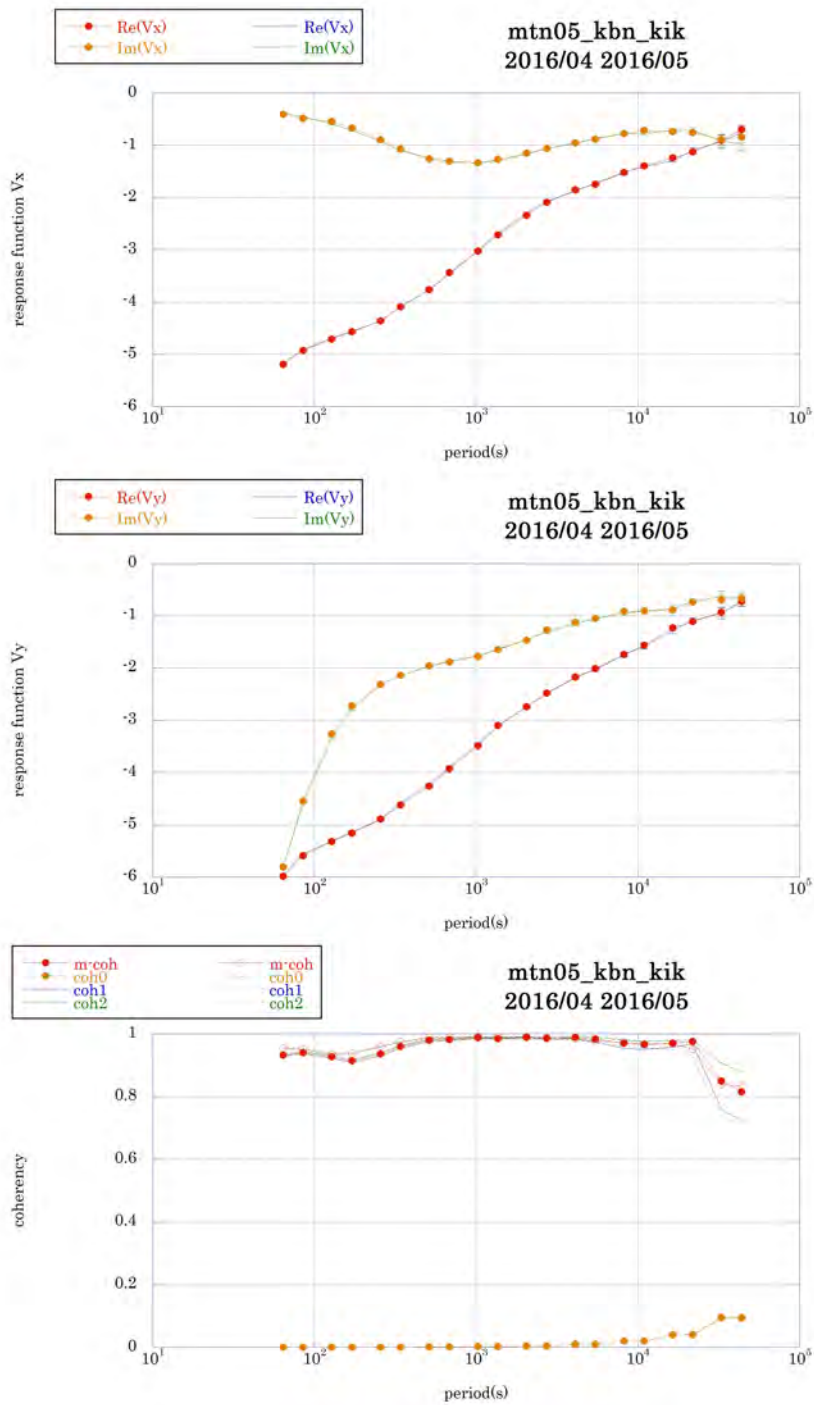


図 14. 窪野での磁場水平 2 成分に対する、松野（チャンネル 5）で観測された地電位差の周波数応答関数。横軸は周期（秒）縦軸は応答関数（mV/nT）を示し、 V_x 、 V_y は、それぞれ、窪野の磁場南北成分、東西成分に対する応答を表す。また、下段にそれぞれの応答関数推定における相関関数の情報を示す。m-coh、coh0、coh1、coh2 は、それぞれ、多重相関関数、ゼロ相関関数（磁場と地電位差変動が統計的に無相関である時の相関関数値）、相関関数推定の下限、上限値を示す。2016 年 4 月と 5 月のそれぞれ 1 か月間のデータを用いて推定されたものを、異なった色やシンボル（それぞれ凡例の左と右に表示）で示している。

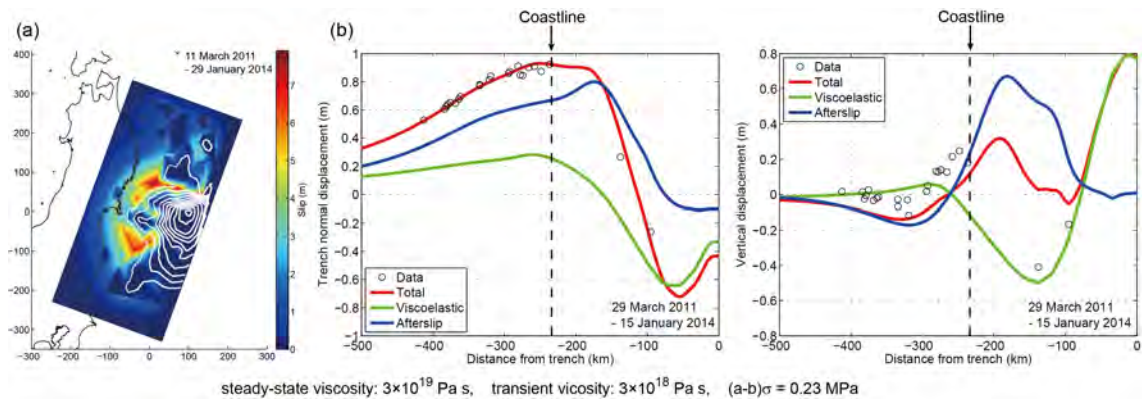


図 15. (a) モデルにより計算された 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効すべり。白のコンター (5m 間隔) はモデル計算に用いた地震時のすべり分布 (Hooper et al., 2013) を示す。(b) 海溝軸に直交し、宮城沖を通る直線上におけるモデル計算値と近傍観測点における観測値の比較。左図は海溝軸に直交する方向の水平変位、右図は上下変位を示す。黒丸は GEONET の GNSS データ及び GPS/Acoustic データ (Watanabe et al., 2014) による変位の観測値、緑線、青線はそれぞれ粘弾性緩和及び余効すべりによる変位の計算値、赤線はそれらの合計を表す。

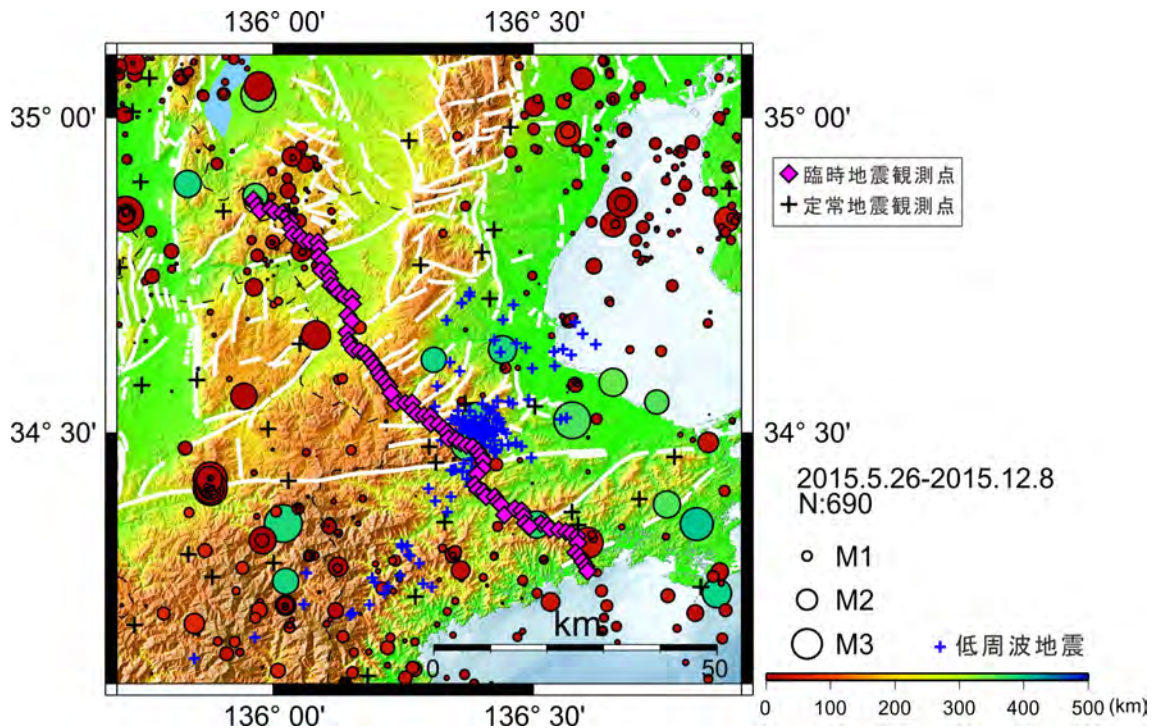


図 16. 「甲賀 南伊勢測線」観測点配置図。
丸印は、観測期間中の気象庁一元化処理による震源を示し、その大きさがマグニチュード、色は震源の深さを表す。青色十印は、観測期間中の気象庁一元化処理による低周波地震の震央を示す。

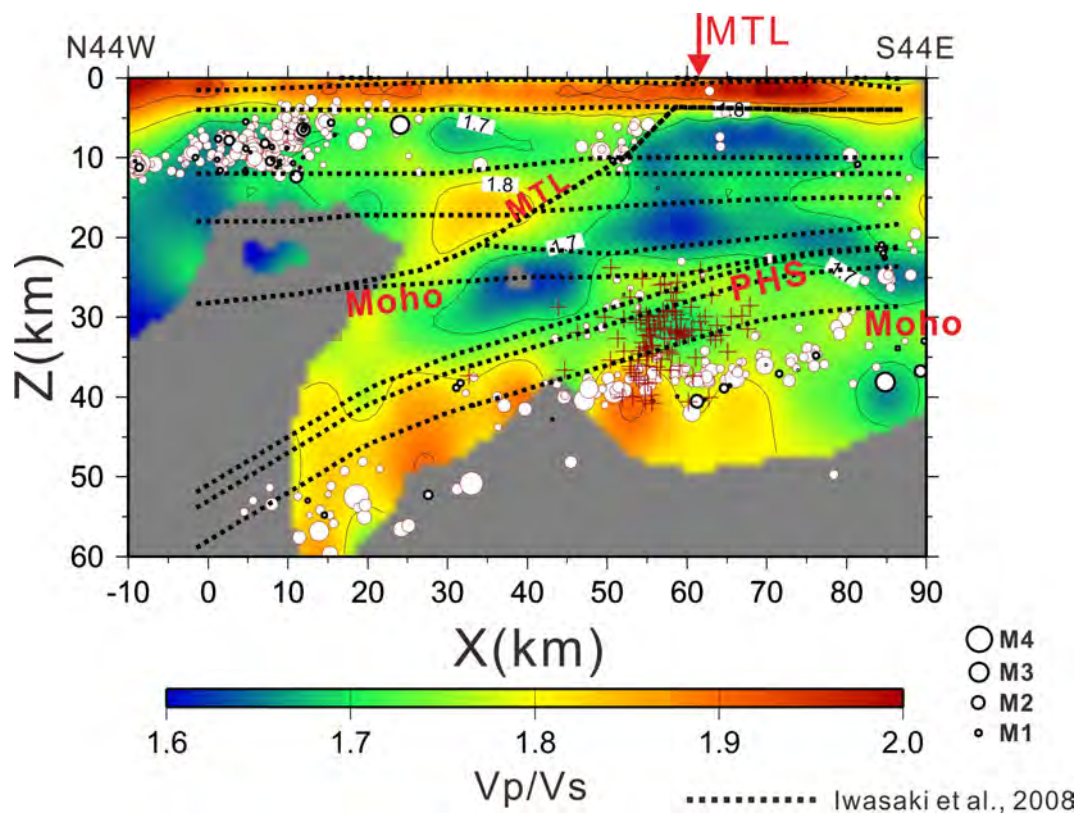


図 17. 「甲賀 南伊勢測線」下の V_p/V_s 構造と震源分布 (幅は $\pm 10\text{km}$ 以内)。
 黒縁丸印は、本研究で使用了地震波形データの検測値を用いて再決定した地震の震源を示す。2000 年 1 月 1 日
 から 2015 年 5 月 25 日までの気象庁一元化処理震源の検測値を用いて再決定した、普通の地震の震源を赤縁丸印、
 低周波地震の震源を十印で示す。波線は、Iwasaki et al. (2008) によって示された「甲賀 南伊勢測線」下の速度
 境界面を示す。PHS: フィリピン海プレート、MTL: 中央構造線。

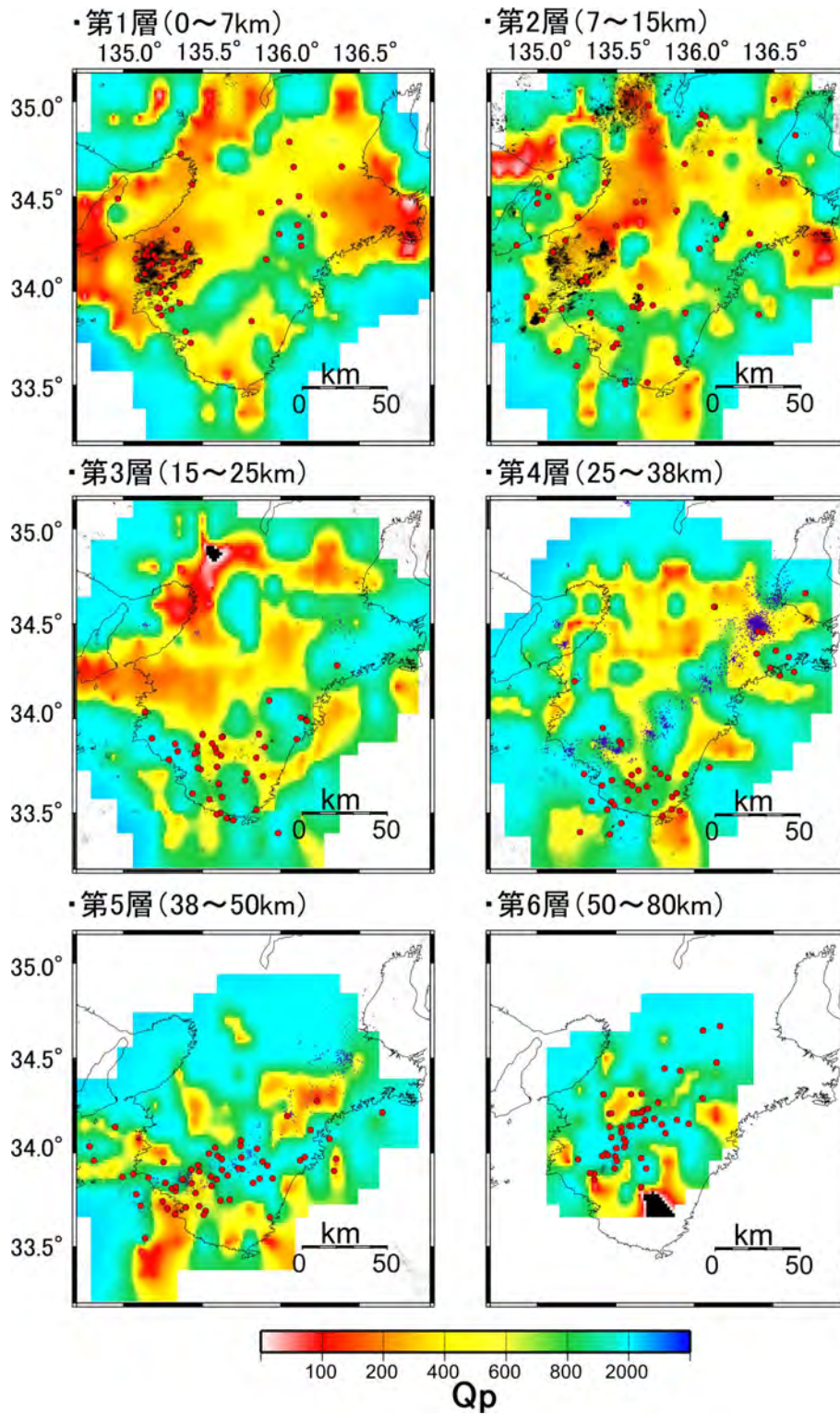


図 18. Qp 水平断面図。

黒点と青点は、それぞれ気象庁一元化震源カタログ (1998年1月1日から2011年6月30日) による普通の地震、深部低周波地震の震源を示す。赤丸は、減衰構造の推定に使用した地震の震源を示す。

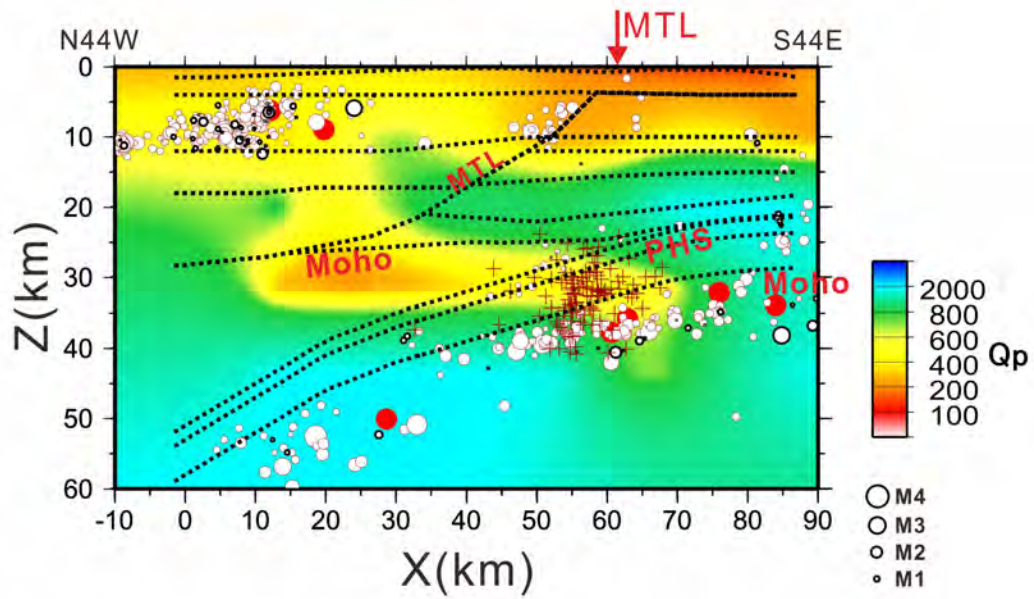


図 19. 「甲賀 南伊勢測線」下の Q_p 鉛直断面図。

赤丸は、減衰構造の推定に使用した地震の震源を示す。黒縁丸印は、本研究で使用した地震波形データの検測値を用いて再決定した地震の震源を示す。2000年1月1日から2015年5月25日までの気象庁一元化処理震源の検測値を用いて再決定した、普通の地震の震源を赤縁丸印、低周波地震の震源を十印で示す。波線は、Iwasaki et al. (2008)によって示された「甲賀 南伊勢測線」下の速度境界面を示す。PHS: フィリピン海プレート、MTL: 中央構造線。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

相似地震再来特性の理解に基づく地殻活動モニタリング手法の構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究計画では、ほぼ同一場所で発生する相似地震を用いて、沈み込みプレート境界における固着状態の時間・空間的变化をモニタする手法を改良・高精度化するとともに、プレート間相似地震以外の地

震や微動によるすべりモニタリングの可能性を検討し、地殻活動および地震発生過程の理解を進める。また、地震の再来を、地震の震源位置、発震機構解、波形の類似性等から総合的に検証するシステムを開発し、日本列島および世界で発生した小・中規模相似地震カタログの構築を行う。さらに、相似地震に見られる再来間隔および規模の揺らぎの原因を、観測データの解析および数値シミュレーションによって明らかにする。異なる規模の地震を比較検討することにより、発生状況の類似性や相違を明確にし、大地震の発生・予測モデルの構築に役立てる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

(a) 相似地震カタログの構築

平成26年度から5ヶ年を通して、日本全国の定常地震観測網で観測された地震波形データを蓄積し、前計画までに各機関で構築された小規模相似地震抽出システムを継続運用する。また、伊豆・小笠原海溝等島嶼部において地震観測を実施し、観測体制を強化する。地震観測網内およびその周辺で発生した地震については、地震の震源再決定、発震機構解の推定および地震のコーナー周波数の推定等を行い、同一場所での地震の再来を確認する基礎資料を作成する。

さらに、日本周辺および世界のプレート境界域で発生した、微小地震から中規模地震までの相似地震カタログを自動構築するシステムを新たに開発する。平成26年度は、データや解析結果等、入出力ファイルの共通化に向けた仕様を策定する。平成27年度は、相似地震抽出法の改良方針を決定し、プログラムの基本部分を開発してテスト運用を行う。平成28年度は、結果の共有化およびモニタリングシステムへの容易な移行を進めるため、地震の震源位置、発震機構解、波形の類似性等のデータベースを構築し、各種データを相互にリンクするシステムを追加開発する。平成29年度は、開発したシステムの実運用を開始し、相似地震カタログの準リアルタイム構築を実施する。また、GPUを用いた高速解析システムの開発を行う。平成30年度は、ホームページを作成し、新たに作成されたカタログに関する情報を発信する。

(b) 断層面固着状態の推定

平成26年度から5ヶ年を通して、日本列島下に沈み込むプレート境界における固着状態のモニタリングを行う。特に、東北地方太平洋沖地震発生前の固着状況変化および地震後の余効変動に着目した解析や、この地震でその重要性が認識されたプレート境界浅部での固着状態の把握を、相似地震による解析の特徴を生かして進める。南西諸島地域の固着状態の推定は、東北日本地域との類似性や違いを意識しながら進める。

また、断層面固着状態の時間・空間変化をモニタする手法を高精度化する。平成26年度は、前計画までに各機関で構築したモニタリング手法を適用する。また、各手法を比較検討し、改善点を調査する。平成27年度は、測地データから推定されるすべりの情報と比較し、さらには統合して解析する手法の開発を行う。平成28年度は、プレート境界周辺で発生する低周波地震・微動等、他の地震活動と比較を行い、相似地震すべりモニタリングの適用範囲を把握し、他の地震活動によるすべりモニタリングへの応用可能性を検討する。また、プレート境界地震を含む周辺の地震の応力降下量の推定や、変換波振幅の時空間変動のモニタリングを通して、プレート境界の固着状態の時間・空間的变化を推定する手法を開発する。平成29年度は、地殻内やスラブ内で発生する地震のすべりが推定可能か検証を行う。平成30年度は、モニタ結果を自動的にアップデートするシステムを構築する。

(c) 地震再来特性の解明

以下に掲げる相似地震活動予測、観測データ解析および数値シミュレーション解析を5ヶ年にわたり実施することにより、相似地震に見られる再来間隔・規模の揺らぎの原因を明らかにする。特に、相似地震の階層性が生じる原因の解明を目指す。また、東北地方太平洋沖地震発生後に多数見られた新たな相似地震群の発生および消滅、既存相似地震群の波形相似性が低下した原因について検討する。観測データからは、釜石沖や東北地方太平洋沖地震震源域等において詳細な震源メカニズムを多数推定し、地震の再来間隔との関係を調べ、近隣でのすべりや応力変化による影響を検討する。また、小地震の地震サイクルが大地震サイクルと共通の特徴を持つかどうか、規模の異なる繰り返し地震の性

質を比較検討する。さらに、統計モデルより相似地震活動の予測を行う。予測性能を統計的に評価し、予測手法の改良を図っていく。観測された地震の再来特性を速度 - 状態依存摩擦法則に基づく数値シミュレーションにより再現し、相似地震発生域で想定される摩擦特性を検討する。特に、巨大地震発生後の応力不均質性による影響、地震発生深さへの依存性、プレート形状の影響等に注目した解析を行う。また、様々な摩擦特性における地震間のすべりの時空間変化を調査し、断層面固着状態の時間変化の推定精度向上を図る。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

(a) 相似地震カタログの構築

日本全国の定常地震観測網で観測された地震波形データを蓄積し、既存のシステムを継続運用することにより、相似地震活動の検出を行った。また、全国相似地震カタログを構築するシステム抽出へ向けた準備として、波形データの整理を行った。

同一場所での地震の再来を確認する基礎資料を作成した。本年度は、波形の特徴をもとに東北沖の海域に発生する地震に対してメカニズムタイプの分類を行った。さらに震源決定や東北沖地震による応力変化の計算も行い、東北沖地震の発生によるメカニズムタイプの空間変化について議論した。また、2014 年 4 月にチリ北部で発生した Iquique 地震 (M8.1) に関連して発生した相似地震の検出に関して、検出の際に仮定する応力降下量依存性について検討を行った。仮定する応力降下量によって、相似地震の検出数や非地震性滑り量は変化するものの、定性的な振る舞いに大きな違いは見られなかった。

伊豆・小笠原島弧における地震観測の空白地域となっている伊豆鳥島での地震観測を継続した。伊豆鳥島は北の青ヶ島から 230 km、南の小笠原父島から 420 km 離れた無人島であり、アクセスや電源、通信手段の入手が非常に難しい。平成 26 年度に開発した新しい衛星電話で送るシステム (図 1) を 2015 年 9 月に伊豆鳥島に設置し、地震および傾斜変動の連続観測を開始し、今年度も観測を継続した (図 2)。今年度は日程の都合で伊豆鳥島への上陸点検作業は実施できなかったが、機器は正常に動作しており、いくつかの顕著な地震が記録されている。

(b) 断層面固着状態の推定

作成した相似地震カタログを用いて、日本列島および南米大陸下に沈み込むプレート境界における、固着状態の時空間変化の推定を行った。

Brownian Passage Time (BPT) 分布更新過程から拡張した時空間更新過程モデル (Nomura et al., 2017) を用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震までの太平洋プレート境界における準静的滑りの時空間的变化を推定した。その結果、十勝沖～釧路沖において 2003 年十勝沖地震後の滑り速度が長期にわたって以前より高い水準にあること (図 3)、三陸はるか沖地震の余効滑りの減衰期間が深さにより異なること、三陸沖や福島沖では間欠的に M6 クラスの地震や群発地震に伴う滑り加速が見られることなどが考察された。さらに、GPS インバージョンによる同地域の滑り欠損分布 (Hashimoto et al., 2012, Ozawa et al., 2004) の推定結果と比較を行い、推定された滑り量のスケールに差があるものの、全体的に同じ傾向が捉えられていることを示した。

沈み込みプレート境界における固着状態の時間・空間的变化をモニタする手法の改良・高精度化のため、相似地震のすべり方向の相対変化を精密に推定できる方法を開発し、東北沖地震前後のフィリピン海プレートの上面と下面の相似地震に適用した。すべり速度の時間変化の結果と組み合わせることで、東北沖地震後太平洋プレート・フィリピン海プレートの両方の沈み込み速度が一時的に加速したことが推定された (図 4)。

2014 年チリ Iquique 地震の発生に至るまでの地震活動解析を行った。2008 年から 2014 年までの波形データと USGS 地震カタログを用いて、Matched Filter 法により震源カタログを新たに構築した。本震発生の約 270 日前から、地震活動度、相似地震から推定される非地震性滑り量、ETAS モデルの background rate が間欠的に増加し始め、その増分も時間とともに大きくなり、本震発生に至ったことが明らかとなった。また、震源移動現象の発生頻度も本震発生に向かって増加した傾向が見られた。これらの解析結果に基づくと、地震性すべりに加えて非地震性すべりもプレート境界面上で同時に進

行し、本震破壊領域の端で固着が間欠的に緩み破壊域への応力集中が生じたことで本震の発生が促進されたと考えられる。

(c) 地震再来特性の解明

東北沖でテンプレートを用いたメカニズム解の決定を行い、同地域でのメカニズムタイプの時間変化と、2011年東北沖地震前後の震源域周辺におけるb値の時間変化との関係を調べた(Nakamura et al. 2016)。東北沖地震後、震源域周辺では正断層型地震が卓越するようになっており、逆断層型地震が卓越していた東北地方太平洋沖地震前と大きく異なる(図5)。東北沖地震後のb値の時間変化から、東北沖地震のすべり域がすでに地震前の状況に戻っていると報告もあるが、地震の発生場所が時間的に変化していることもあり、b値の時間変化を応力変化と結びつけるのは、現段階では慎重になる必要があると考えられる。さらに、高サンプリング臨時観測データを用いて、相似地震から放射される高周波成分の励起源の推定(Hatakeyama et al., 2016)も行った。

2つの速度弱化パッチの相互作用を考慮したモデルによる数値シミュレーションを行い、地震発生サイクルの複雑性を調べた。サイスミックカップリングが急変する時に多重周期や非周期的なサイクルが発生しやすいことがわかった。また、大規模な余効すべりをはじめとする、準静的なすべりの伝播過程について、相似地震解析結果を基に数値シミュレーションで再現した結果を参考に、摩擦構成則に基づいて摩擦特性と伝播速度の関係式を導出した。

繰り返し回数が少ないときの相似地震の発生確率予測の精度を、日本海溝沿いで行った2006年から2010年の4回の確率予測実験データで検証した。相似地震の予測検証実験では、実際の発生状況に比べ、予測確率の平均が10%前後過小であった。対数正規乱数の疑似データを用いて、小標本論対数正規分布モデルの予測実験を行ったところ、同様な過小確率が再現され、その半分強が標本誤差と予測モデルに由来することが判明した。また、BPT分布モデル(BPT, plug-in方式)ベイズ統計対数正規分布モデル(LN-Bayes)、小標本論対数正規分布モデル(LN-SST)および指数分布モデル(Exp-pin)について、繰り返し回数が同じときの予測結果をROC曲線で比較した。BPTのパラメータ μ 、 σ は、当該予測の発生間隔の平均値と、地震数5個(発生間隔4個)時の度数分布の中央値($\mu = 0.367$)を、LN-Bayesの逆ガンマ事前分布のパラメータは、 $\alpha = 0.25$ 、 $\beta = 0.44$ を使用した。繰り返し回数が少ないときは、LN-BayesやLN-SSTはBPTよりも優れており、Exp-pinは他の3統計モデルよりも劣る(図6)。さらに、対数正規乱数を用いたシミュレーションを実施し、LN-BayesやLN-SSTなどの予測成績(平均対数尤度とブライアスコア)の調査を進めた。日本海溝沿いの相似地震カタログの場合と同様、予測に使用する発生間隔データを少なくするにつれて予測成績は悪くなり、データが3個以下では成績悪化が顕著であった。また、LN-Bayesの条件を満足する乱数シミュレーションでは、一部例外を除き、データが非常に少ない時はLN-BayesがLN-SSTより優れる一方、データが数個以上になると成績差は比較的小さく、10個程度以上では非常に小さかった(図7)。すなわち、データが非常に少ない時は、事前分布に含まれる経験的な情報が予測精度の向上に相当役立つことが分かった。

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
有吉 慶介, 2016, 沖縄でも取り組み始めた地震予測の試み～その規則性と複雑性に迫る～, 第58回 GODAC セミナー
有吉 慶介, 2017, 地震発生サイクルの揺らぎを知る～東北地方太平洋沖地震を教訓として～, 2016年度横須賀市市民大学後期講座。
有吉 慶介・中田 令子・兵藤 守・堀 高峰, 2016, JAMSTEC の HPC システムを利用した海溝型巨大地震の防災・減災への取り組み, 2016年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学のシンポジウム(オーガナイズドセッション: 防災減災に資する Urgent Computing への挑戦)。
Burgmann, R., N. Uchida, Y. Hu, and T. Matsuzawa, 2016, Tohoku rupture reloaded?, Nature Geosci., 9, 183-184.
Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsushima, T. Kono, S. Hirahara, and T. Nakayama, 2016, Variation in high-frequency wave radiation from small repeating earthquakes

- as revealed by cross-spectral analysis, *Geophys. J. Int.*, 207 (2), 1030-1048, doi:10.1093/gji/ggw313.
- Linuma, T., R. Hino, N. Uchida, W. Nakamura, M. Kido, Y. Osada, and S. Miura, 2016, Seafloor observations indicate spatial separation of coseismic and postseismic slips in the 2011 Tohoku earthquake, *Nature Communications*, 7, doi:10.1038/ncomms13506.
- Kato, A., J. Fukuda, T. Kumazawa and S. Nakagawa, 2016, Accelerated nucleation of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.2 Earthquake, *Scientific Reports*, 6, 24792, doi: 10.1038/srep24792.
- Kato, N., 2016, Earthquake cycles in a model of interacting fault patches: Complex behavior at transition from seismic to aseismic slip, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 106, doi: 10.1785/0120150185.
- 小林 広明・越村 俊一・下條 真司・有吉 慶介, 2016, 防災減災に資する Urgent Computing への挑戦, *ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム論文集*, vol. 2016, 128-129.
- Nakamura, W., N. Uchida, and T. Matsuzawa, 2016, Spatial distribution of the faulting types of small earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: A comprehensive search using template event, *J. Geophys. Res.*, 121, 2591-2607.
- Nakata, R., T. Hori, M. Hyodo, and K. Ariyoshi, 2016, Possible scenarios for occurrence of M 7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation, *Scientific Rep.*, 6, 25704, doi:10.1038/srep25704.
- Nomura, S., Y. Ogata, N. Uchida, and M. Matsu 'ura, 2017, Spatiotemporal variations of interplate slip rates in northeast Japan inverted from recurrence intervals of repeating earthquakes, *Geophysical Journal International*, 208 (1), pp.468-481, doi:10.1093/gji/ggw395.
- 岡田正実, 2016, 小標本論対数正規分布モデルの問題点と改良について, *日本地球惑星科学連合 2016 年大会*, SSS24-01.
- 田中昌之, 2016, 繰り返し回数の少ない相似地震の長期的発生予測に BPT 分布を用いた場合の成績, *日本地球惑星科学連合 2016 年大会*, SSS24-P01.
- Uchida, N., Y. Asano, and A. Hasegawa, 2016, Acceleration of regional plate subduction beneath Kanto Japan, after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 9002-9008, doi:10.1002/2016GL070298.
- Uchida, N., S. Kirby, N. Umino, R. Hino, and T. Kazakami, 2016, The great 1933 Sanriku-oki earthquake: reappraisal of the mainshock and its aftershocks and implications for its tsunami using regional tsunami and seismic data, *Geophys. J. Int.*, 206 (3), 1619-1633.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

(a) 相似地震カタログの構築

日本全国の定常地震観測網で観測された地震波形データを蓄積し、前計画までに各機関で構築された小規模相似地震抽出システムを継続運用する。また、全国相似地震カタログの構築へ向けて、相似地震の抽出方法の改善に着手する。地震観測網内およびその周辺で発生した相似地震については、震源の再決定を行い、同一場所での地震の再来を確認する基礎資料を作成する。世界のプレート境界域で発生した、中規模地震の相似地震カタログの構築システムを改良し、運用を行う。伊豆・小笠原海溝島嶼部においては、平成 27 年度に伊豆鳥島に設置した新しい衛星携帯電話を用いたテレメータ観測装置を用いて、地震観測を継続する。また現在現地収録している地震データを回収して、相似地震カタログの構築に資する。

(b) 断層面固着状態の推定

推定手法の改善を図りながら、沈み込むプレート境界域における固着状態のモニタリングを引き続き行う。西南日本から南西諸島地域の固着状態の推定は、東北日本地域との類似性や違いを意識しながら調査を進める。デロネー分割線形補間を利用した、新たな準静的滑り分布の推定手法を提案し、米国カリフォルニア州サンアンドレアス断層などの相似地震カタログを解析して、滑り速度の特徴的な変化および周辺域を含む大地震との関連性を探る。さらに、地殻内やスラブ内で発生する地震活動

を用いたすべりモニタリングの可能性を検討する。

(c) 地震再来特性の解明

東北地方太平洋沖地震をはじめとする大規模な余効すべり現象について、観測データ解析および数値シミュレーション解析を実施することにより、相似地震に見られる再来間隔・規模の揺らぎの原因、相似地震の階層性が生じる原因の解明を目指す。特に、相似地震発生域で想定される摩擦特性は、平成 28 年度に速度 状態依存摩擦法則による数値シミュレーションに基づき導出した、摩擦特性と準静的なすべりの伝播速度との関係式を適用し、相似地震解析から推定される準静的すべりの伝播速度から定量的に絞り込むことを目指す。また、統計モデルにより相似地震活動の予測を行う。予測性能を統計的に評価し、予測手法の改良を図っていく。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所（五十嵐俊博、加藤愛太郎、加藤尚之）

他機関との共同研究の有無：有

東北大学大学院理学研究科（内田直希、松澤暢）九州大学大学院理学研究院（松島健）鹿児島大学大学院理工学研究科（後藤和彦、八木原寛）弘前大学大学院理工学研究科（小菅正裕）京都大学防災研究所（山下裕亮）防災科学技術研究所（木村尚紀、松原誠）海洋研究開発機構（有吉慶介）統計数理研究所（尾形良彦）東京工業大学（野村俊一）首都大学東京（大久保寛）UC Berkeley（Roland Burgmann）気象研究所（研究連携：田中昌之、勝間田明男）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：五十嵐俊博

所属：東京大学地震研究所

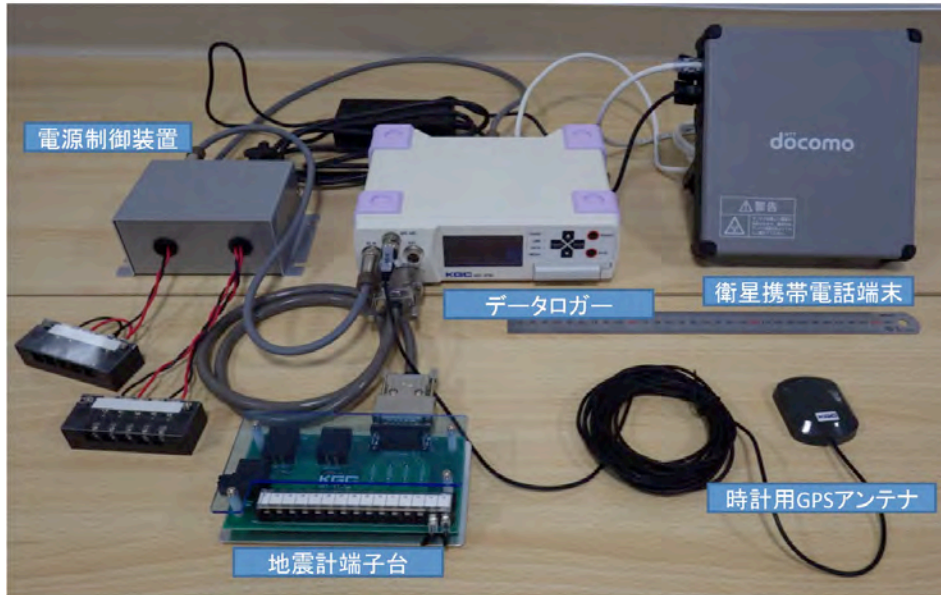


図1 伊豆鳥島に設置した、衛星携帯電話利用のデマンド型テレメータ地震観測装置

伊豆鳥島近海地震 Mj6.0 D438km 2016年2月15日 03:10~

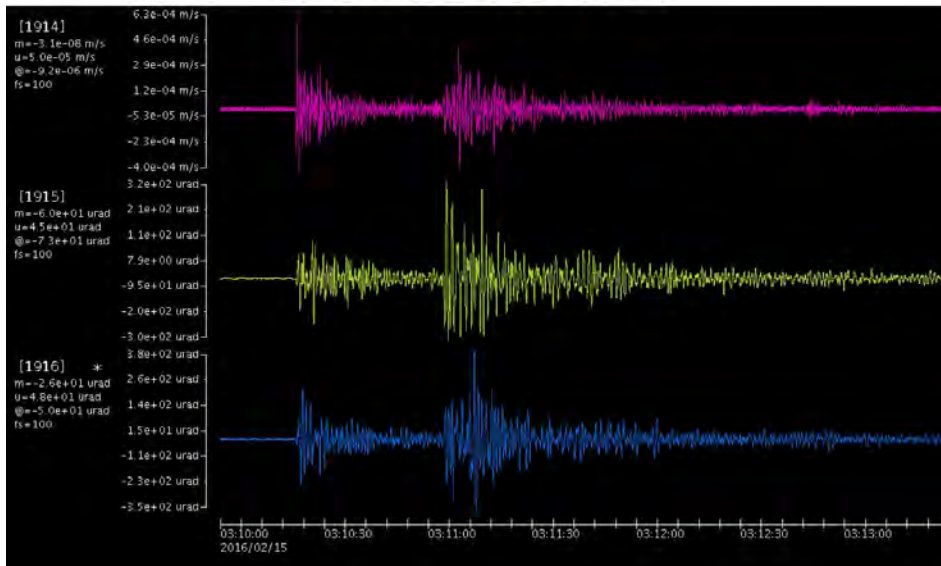


図2 新装置で記録され、衛星電話経由で回収した、伊豆鳥島近海で発生したプレート境界部の深発地震（2016年2月15日）

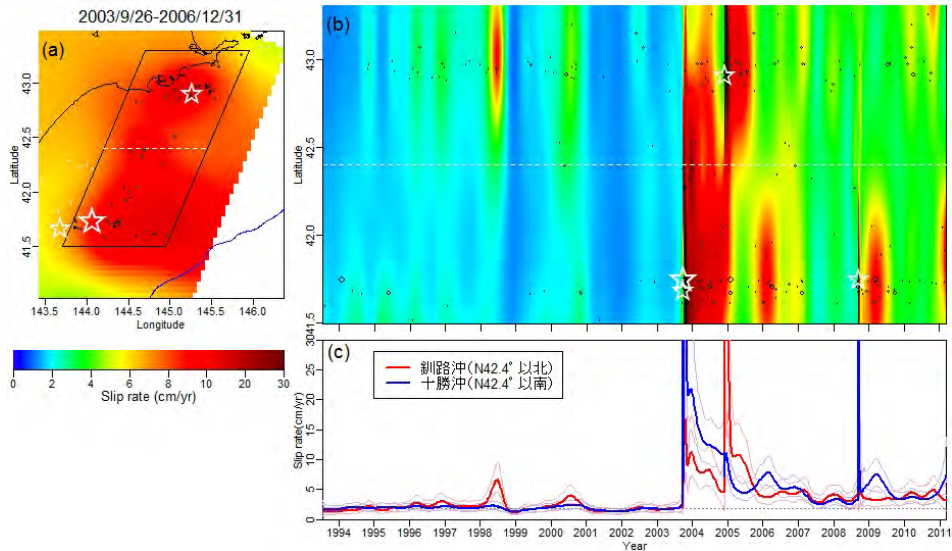


図3 釧路沖～十勝沖における準静的滑りの推定結果

白星は M7 以上の地震。(a) 2003 年十勝沖地震直後から 2006 年 12 月までの平均滑り速度の分布。(b) 緯度と時間による滑り速度の時空間推移。(c) 釧路沖(赤)と十勝沖(青)における滑り速度の時間推移。

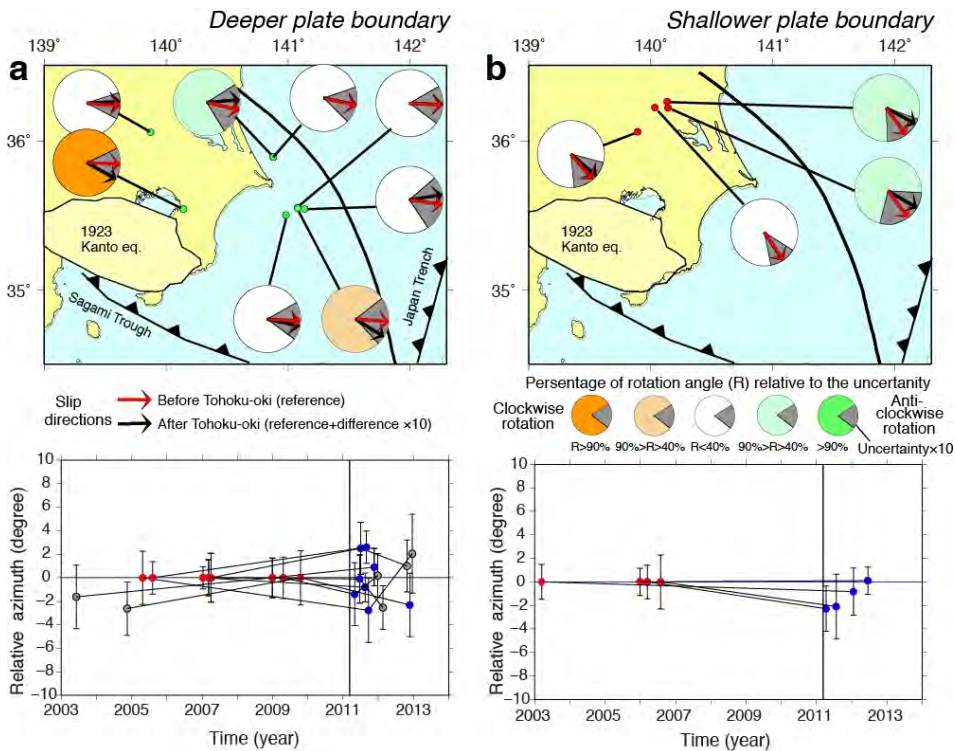


図4 フィリピン海プレートと太平洋プレートの間(a)および、オホーツクプレートとフィリピン海の間(b)の相似地震についてのすべり方向の時間変化

上図では東北沖地震直前のイベントのすべり方向を赤矢印で、それに対する東北沖地震後のすべり方向を、差を10倍にして示す。丸の色は回転方向、灰色領域は誤差範囲を示す。下図では、東北沖地震の直前のイベントを赤丸で、直後のイベントを青丸で示す。縦線は東北沖地震の発生時。東北沖地震前後に4°を超えるすべり方向の変化は見られない。

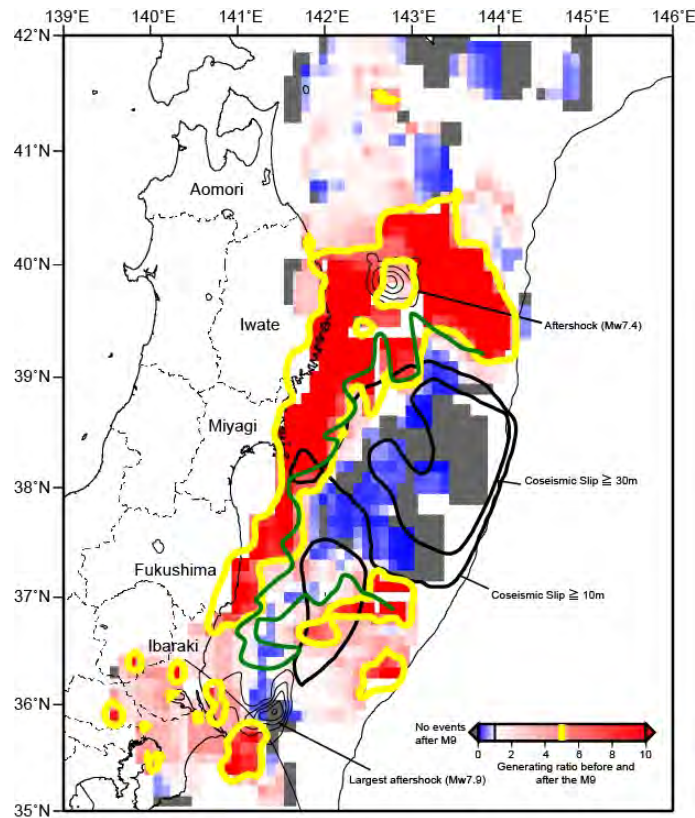


図5 プレート境界地震の発生レートの時空間変化 (Nakamura et al., 2016)

0.4 °× 0.4 °のグリッドごとに東北沖地震前後の単位時間当たりの発生数の比を示す。3 個以上の地震が解析期間中に発生している場所について色で比を示す。

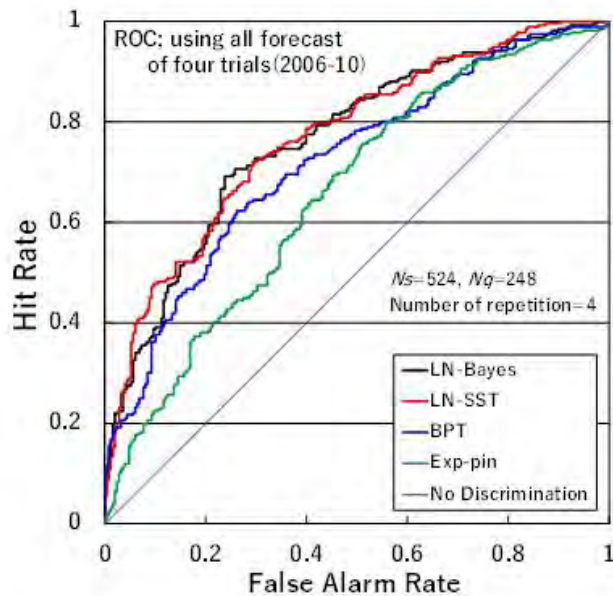


図6 ROC 曲線を用いた発生間隔 4 個時の 4 統計モデルの予測結果比較

2006 年から 2010 年の 4 回の確率予測実験データ (予測数 $N_s=524$ 、うち予測期間内の発現数 $N_q=248$) で検証。LN-Bayes、LN-SST、BPT、Exp-pin は、ベイズ統計対数正規分布モデル、小標本論対数正規分布モデル、BPT 分布モデル、指数分布モデルの予測結果。この図では左上に位置するモデルが優れており、LN-Bayes や LN-SST は BPT よりも優れており、Exp-pin は他の 3 統計モデルよりも劣る。

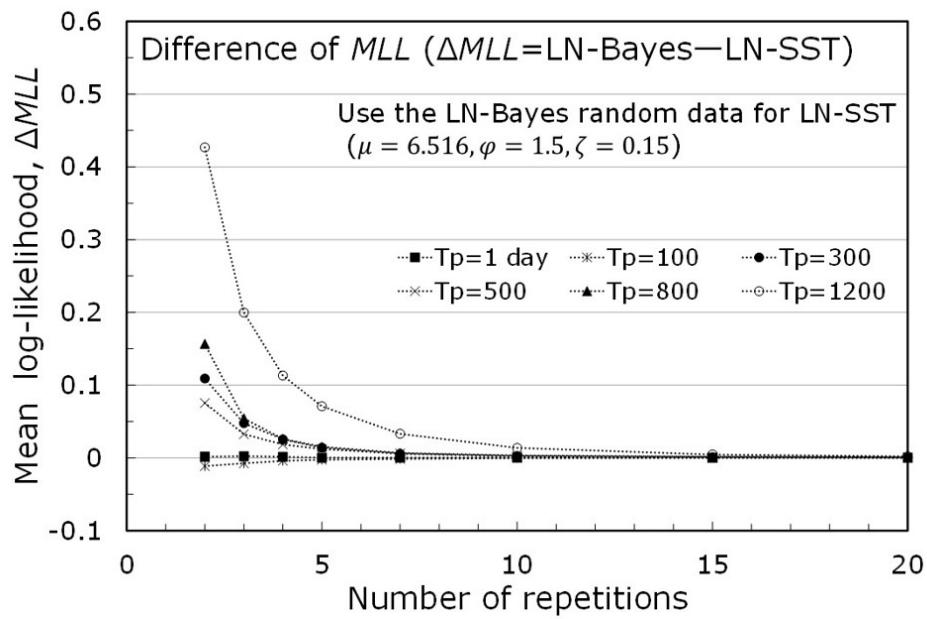


図7 LN-Bayes の条件を満足する乱数による実験 (各点 50,000 組) で得られた LN-Bayes と LN-SST の予測成績の差

対数正規乱数の母数は相似地震から求めた。μ は相似地震の各系列発生間隔 3 個で求めた平均発生間隔 (日数) の対数である。 と は LN-Bayes の逆ガンマ事前分布の形状パラメータとスケールパラメータ、Tp は直近地震から予測日までの経過日数。予測期間は 1 年 (365 日) である。

- (1) 実施機関名：
東京大学地震研究所
- (2) 研究課題(または観測項目)名：
地震活動に基づく地震発生予測検証実験
- (3) 最も関連の深い建議の項目：
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
(2) モニタリングによる地震活動予測
ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験
- (4) その他関連する建議の項目：
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
(3) 先行現象に基づく地震活動予測
- (5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：
- (6) 本課題の 5 か年の到達目標：
日本における地震発生予測検証実験を通して、標準あるいは基準となる地震活動予測モデルを開発する。
- (7) 本課題の 5 か年計画の概要：
国際プロジェクトである Collaboratory for the Study for Earthquake Predictability (CSEP) と国際連携をはかり、日本においての地震発生予測検証実験を運用し、日本標準あるいは基準となるような地震活動に基づく地震発生予測モデルの開発を行う。検証実験のための地震カタログ等についてコンプリートネスマグニチュードなどの性能評価を行う。また、地震カタログ生成などのシミュレーション手法等のプロトタイプを開発する。この研究に関する研究集会等を企画する。
評価に必要な基盤ソフトウェアを、CSEP のテストセンターから入手し、アップデートを実施する。地震発生予測検証実験の結果を、論文あるいはパスワードプロテクトされた Web ページにて、関連の研究者に公開する。
- (8) 平成 28 年度の成果の概要：
地震活動モデルとしては、HISTETAS および改良版の RI を使用して、熊本地震に対する 1 日予測テストクラスの検証実験を実施した。なお、領域内の地震総数については、大森宇津則を適用して予測に用いることにより、CSEP の N-, S-, M-, L-テストをパスすることを確認した。
また、AllJapan テスト領域について 25 ラウンドを超える検証実験でのモデルの比較を行った。HISTETAS7PA1205 がベストの成績を収めた。
- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- (10) 平成 29 年度実施計画の概要：

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：
担当者：鶴岡 弘・平田 直（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
常磐大学（岩田貴樹）
- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：東京大学地震研究所
電話：03-5841-5712
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：
- (13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
氏名：鶴岡 弘
所属：東京大学 地震研究所 地震火山情報センター

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震活動パラメーターと地震発生場の応力の間に成り立つ定量的関係式

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震活動パラメーター群の時空変化を地震発生場の物理量の変化と結びつける定量的な関係式を、室内実験・数値シミュレーションによって確立する。とくに、応力の絶対値およびその時空ダイナミクスと、地震活動の特性を数理的に結びつける。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震発生場の物理量の直接測定はごく浅部を除き不可能であるため、実際の地震活動を地震発生場の物理過程から理解すること容易ではない。したがって本課題においては、地震活動と極めて類似した振る舞いを示すいくつかの物理モデルを用いて、地震活動を動力学の観点から理解することを目指す。室内実験で確立・解明された関係式は、実際の地震活動データを用いてその妥当性を検証する。扱う物理モデルは主に以下の 3 つである：I. 粉体の準静的変形実験、II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験、III. バネブロックモデルの数値実験。これらの実験に加えて、理論物理的研究も並行して進める。

H26 年度

実験システムの準備と構築を行う。粉体中の音波放出 (AE) 検出システムおよびデータ処理システム構築、およびアクリル樹脂を使った摩擦面可視化システムを準備する。

バネブロックモデル数値実験においては、離散化の度合いが破壊核形成過程のダイナミクスに及ぼす影響を調べる。

H27 - 28 年度

粉体変形実験における AE データ収録。

アクリル樹脂摩擦実験において垂直応力の不均一性を導入し、すべりの停止ダイナミクスを観察する。バネブロックモデル数値実験において離散化の度合いが系の固有地震に及ぼす影響を調べる。

H29 年度

粉体実験における AE の統計性について整理し、応力絶対値と AE 統計パラメーターの関係性を解明する。

アクリル樹脂摩擦実験において垂直応力の不均一性が地震サイクルに及ぼす影響を調べる。

バネブロックモデル数値実験において、摩擦法則を低速でより正しいと思われるものに変更し、統計パラメーターや破壊核形成過程への影響を調べる。

H30 年度

前年度までに得られた定量的成果を、実際の地震活動データなどと比較し、室内実験の妥当性やスケールアップを解明する。

なお、本課題は主として科学研究補助金の事業に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

I. 粉体の準静的変形実験

これまで行ってきた、I-1 粉体層における低速の摩擦滑り特性についての実験的研究に加え、I-2 粉体層の流動化と摩擦特性の変化に関する実験的研究、及び I-3 粉体層内での流体の移動に関するモデル実験、という新たな研究課題を二つ開始した。

I-1 粉体層の低速摩擦特性

粉体層からワイヤーを低速で引き抜く際の摩擦抵抗について、前年度までの研究結果の取りまとめを行った。この結果は、粉体層の力学的特性が系の幾何学的条件に強く依存することを定量的に明らかにしたもので、断層滑りにおいてもその幾何学的特性を把握することが重要であることを示唆している。

I-2 振動による粉体層の流動化

粉体層に何らかの形で振動を与えると、振動により一時的に実効的粒子間接触圧力が減少し、粉体層が流動化する現象 (Acoustic fluidization) について、ぬれた粉体層を対象に実験的研究を行う準備を進めた。具体的には、含水率を調整した粉体層を傾斜させ粉体層が崩壊を始める始動角と呼ばれる角度の計測を行った。その結果、始動角の含水率依存性は大きくないことが分かった (ただし、乾燥した場合と水を少しでも含んだ場合の始動角は大きく異なる) 。

I-3 粉体層内での流体移動に関する実験的研究

粉体層内の流体移動においては、一様な拡散的浸透状態がある条件下で不安定化し、「水みち」と呼ばれるフィンガー構造が形成されることが知られている。このフィンガー構造による流体移動が断層中の流体移動やそれに伴う強度変化に与える影響を理解するための水輸送実験を準備した。

II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験

摩擦実験系のスティックスリップサイクルに関して、せん断力の測定や接触状態のその場観察を行った。とくにひずみ蓄積の様子を調べるため、ゲル表面近傍に埋め込まれたマーカー粒子の変位分布から、グリーン関数を通じて応力分布を推定したことが特筆される。この系では周期的 (約 500 秒ごと) に巨大イベントが発生するが、図 1 には各時刻でのせん断応力分布を示した : $t = 2500$ (巨大イベント発生直後) , 2650 , 2800 , および 2920 sec (巨大イベント発生直前) 。 イベント発生直後の (a) では、せん断応力は法線応力の大きな領域 (図において白い枠内で上側の領域) のみに蓄積していたが、次第に法線応力の小さな領域に拡大していった。また、接触面の中央部付近では微小イベントが多数発生した結果、せん断応力が大きな領域が 2 つに分裂する様子が観察された ((b)-(c))。最終的 (d) には、2 つの“ アスぺリティ ” がほぼ同時にすべることによって、巨大イベントが発生した。このように応力分布の可視化を行うことで、巨大イベントの発生とせん断応力の時間変化とを関連づけて理解できることが分かった。

III. バネブロックモデルの数値実験

前年度から継続して、速度状態依存摩擦則に従う1次元バネ-ブロックモデルが示す余効すべりやスロー地震等の非地震性滑り現象全般に関する数値シミュレーションを発展させ、摩擦パラメータを沈み込み帯を模して不均一に設定したモデルに対する数値シミュレーションを行った。特にスロースリップと高速破壊地震の関係に着目し、どのようなタイプの地震系列が、どのような条件下で出現するか、系統的に調べた(破壊域と震源の一例を添付図に示す。図2の左側が沈み込み帯深部、右側が浅部に対応)。

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Yamaguchi, T., Y. Sawae, S. M. Rubinstein, 2016, Effects of loading angles on stick-slip dynamics of soft sliders, *Extreme Mechanics Letters*, 9, 331-335.

- (10) 平成29年度実施計画の概要：

I. 粉体の準静的変形実験

平成28年度に行った三つの項目を継続する。粉体層からの引き抜き摩擦抵抗(成果I-1)については、実験系を改良し、粉体摩擦の充填率依存性を明らかにする。また、粉体層に気流や振動を継続的に加えながら摩擦特性を計測し、気流や振動による流動化と摩擦特性の関係を明らかにしたい。気流や振動による粉体層の流動化は、断層が滑っている状態や近隣の地震による地震波により振動を受けている状態でのガウジの挙動を正しく理解するための基礎情報となり得ると考えられる。同様の振動等による粉体層の流動化はAcoustic fluidizationの文脈の延長として、ぬれた粉体層においても傾斜実験(成果I-2)においても研究する予定としている。具体的には傾斜したぬれた粉体層にパルスの振動を加えることより斜面崩壊が起こる様子を詳細に調べたいことを想定している。これは地震活動の誘発のみならず、地滑りなどの災害の基礎理解にもつながると考えている。また、粉体層内の水の移動(成果I-3)については、開発した実験系を用いて「水みちの太さ」を決定する主要因子を実験的に明らかにする。流体の移動を完全に特徴付けるには水みちの本数密度や成長速度などの因子も理解する必要があるが、本研究ではもっとも計測が容易な水みちの太さに注目し、その特徴付けを行い、土中の流体移動に関する基礎知見を深める。

II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験

これまでの研究によって、大域的な応力場や局所的な接触状態がスティックスリップサイクル、とくに巨大イベントを支配していることがわかった。そこで平成29年度は、接触面内にアスペリティを多数配置し、それぞれの大きさや強度を系統的に変化させ、スティックスリップサイクルを発生させる実験を行う。アスペリティの配置の仕方によって巨大イベントの発生様式がどのように変化するかを、イベント発生前の応力場とイベント発生時の動的すべり挙動の可視化によって、詳細に関連づける。

III. バネブロックモデルの数値実験

沈み込み帯を模した不均一な1次元バネ-ブロックモデルのシミュレーションを、より一般的なパラメータ設定に拡張し、沈み込み帯におけるスロースリップと高速破壊双方を包含した統一的描像の構築を目指す。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

波多野恭弘、光藤哲也

他機関との共同研究の有無：有

桂木洋光(名古屋大環境学研究科) 川村光(大阪大理学研究科) 山口哲生(九州大学工学研究院)

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 波多野恭弘

所属 : 東京大学地震研究所

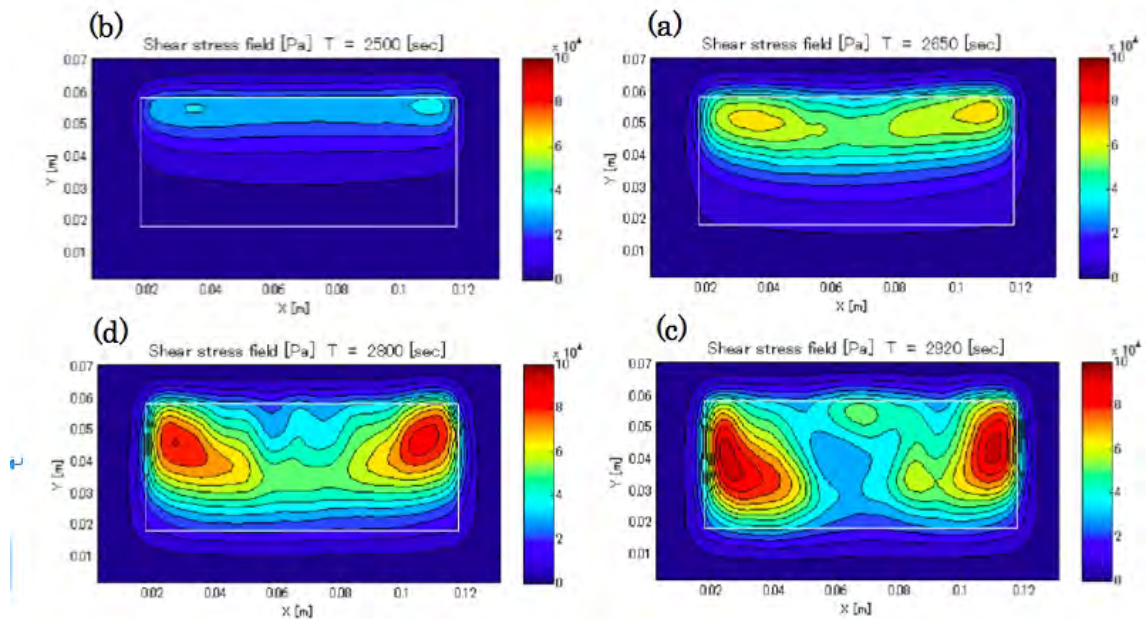


図 1 ゲル摩擦実験における各時刻でのせん断応力分布
t = (a) 2500, (b) 2650, (c) 2800, (d) 2920 sec. 白い枠は接触面の境界を示している .

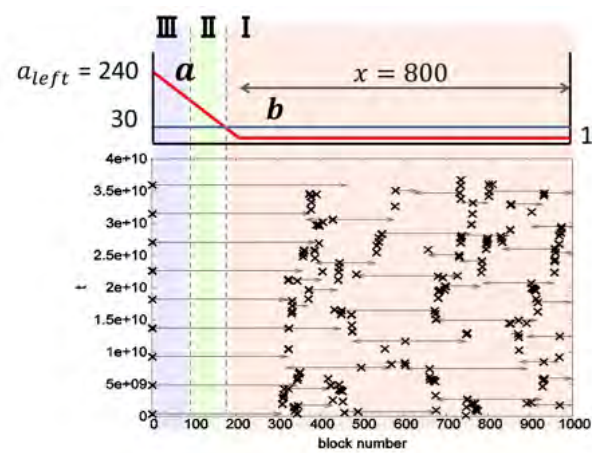


図 2 1次元バネ - ブロックモデルにおける破壊域と震源
左側が沈み込み帯深部、右側が浅部に対応

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

歴史時代に発生した地震・火山などの災害に関する多角的な研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

歴史資料などにに基づき、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などに関して、当時の人々の対応や教訓などを検討する。現代とは異なる社会状況の下で発生した災害時における対応や教訓、復興過程などから、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する材料の提示を目的とする。また、地震・津波・火山噴火に起因する災害だけではなく、気象災害や火災など半ば人為的な災害についても検討の対象とし、日本列島における自然災害史の全体像の提示を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

[平成 26・27 年度]

歴史資料などにに基づいて、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などについて、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて検討する。特に、首都直下地震の発生が懸念される関東地方の歴史災害を対象として研究を実施する。

[平成 28・29 年度]

歴史資料などに基づいて、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などについて、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて検討する。特に、南海トラフ沿いでの海溝型巨大地震の発生が懸念される東海・南海地方の歴史災害を対象として研究を実施する。

[平成30年度]

これまでの研究成果に、新たにデータベース化された史料・考古・地質データを加えて、関東地方や南海トラフで発生した地震・津波・火山噴火などの歴史災害について再検討する。これらの再検討から、自然災害における地震・津波・火山災害の特徴を解明し、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する材料の提示を目指す。

(8)平成28年度の成果の概要：

明応七年(1498年)の畿内における有感地震記録と地震対応

本年度は、室町時代後期の明応七年に、近畿地方で記録された有感地震とそれへの対応について検討した。歴史地震に関する先行研究では、明応七年(1498年)に日本列島で発生した大地震として、六月十一日(ユリウス暦：6月30日)の地震と八月二十五日(同：9月11日)の地震が挙げられている。このうち、八月二十五日の地震については、信憑性の高い史料に東海地域での地震と津波による被害の記述がみられることから、南海トラフ沿いで発生した東海地震とされている。この二つの地震に関する史料については、同時代に記された信憑性の高い史料は少なく、後世に作成された信憑性の低い史料・資料も多く現存している。

そこで本研究では、同時代に記された信憑性の高い日記史料のみを用いて分析した場合に、明応七年の六月十一日と八月二十五日に発生した二つの地震の特徴に関して、どのような可能性が提示できるか検討した。また、この二つの地震に際して、当時の社会がどのような対応を行ったのか、限られた史料記述から検討を試みた。なお、当時の日記史料については、畿内で記録されたものに限定されており、ほとんどが京都での記録で一部に奈良での記録がある。

有感地震記録からみた地震像

本研究では、日記史料に「大地震」と記されているような大きな地震だけではなく、「地震」と記されている日々の有感地震についても検討の対象とした。そして、日記史料にある「大地震」後の「地震」の記録の特徴から、明応七年に発生した六月十一日と八月二十五日の「大地震」の相違点を明らかにした。

当時京都に居住していた公家の近衛政家が記した『後法興院記』の記録によると、六月十一日の「大地震」の場合には、翌日に一回のみ有感地震があった。一方で、八月二十五日の「大地震」の場合には、その後一ヶ月以上にわたって有感地震が頻発した。同様に、京都に居た公家の山科言国が記した『言国卿記』の記録によると、六月十一日の「大地震」の場合には、翌日に一回のみ有感地震があった。一方で、八月二十五日の「大地震」の場合には、その後一ヶ月間にほぼ連日のように有感地震があった。このように、京都で記録された同じ「大地震」でも、その後の有感地震の回数が異なっている状況が分かる。また、『後法興院記』には六月十一日より八月二十五日の「大地震」の方が、倍ほど大きな揺れに感じたとして記されており、同じ「大地震」でも大きさに違いがあった可能性がある。なお、日記史料をみる限り、明応七年に発生した六月と八月の「大地震」による京都での被害は確認できない。

当時奈良に居住していた僧の尋尊が記した『大乘院寺社雑事記』の記録によると、六月十一日の「大地震」の場合には、その後一ヶ月間の有感地震は一回のみであった。一方で、八月二十五日の「大地震」の場合には、発生以降同二十八日まで連日のように有感地震があった。このように、奈良で記録された同じ「大地震」でも京都の場合と同様に、その後の有感地震の回数が異なっている状況が分かる。また、八月二十五日の「大地震」では、興福寺の地蔵堂で南庇が崩れるという被害も生じている。

これらのことから、京都と奈良で記録された六月十一日と八月二十五日の「大地震」は、同じような発生過程を有する地震ではなかった可能性が高いと考えられる。

京都盆地や奈良盆地の周辺で発生した内陸地震の場合には、大きな地震の後に有感地震(余震)が一ヶ月以上にわたって頻発し、大きな地震の揺れによって多くの建造物に被害の生じる状況が想定さ

れる。明応七年六月十一日の「大地震」の場合には、その後の有感地震は一ヶ月程度で減少しており、京都盆地や奈良盆地の周辺で目立った被害が確認できないことから、双方の盆地周辺よりも遠地で発生した中規模の地震であった可能性が考えられる。また、同八月二十五日の「大地震」の場合には、その後の有感地震は一ヶ月以上も継続しており、京都では六月十一日の大きな地震よりも倍ほどの揺れの大きさと、奈良では小規模な被害が確認できる。さらに、『後法興院記』には伝聞情報ではあるが、八月の「大地震」による東海地方での津波被害の概略が記されている。これらことから、八月二十五日の「大地震」については、京都盆地や奈良盆地の周辺よりも遠地で、尚且つ奈良盆地よりも南方で発生した大規模な地震であった可能性が考えられる。

以上のように、畿内で記された日記史料にみられる有感地震の記録に基づいた検討の結果、同じように「大地震」と記されている明応七年六月十一日と同八月二十五日の地震であっても、個々に異なる性質を有している可能性を提示できたと考える。

朝廷での地震対応

『後法興院記』には、明応七年六月十一日及び同八月二十五日の「大地震」発生直後、朝廷からの命令を受けて、陰陽道を司っていた安倍家が朝廷へ上申した勘文の内容が記されている。これによると、「大地震」が発生した理由について、星宿に基づいて水神が動いたことに求められており、『天地瑞祥志』や『京房』といった中国唐代の天文・五行書や易経の書物を参照して、先例の文献調査が行われている。

このように、室町時代後期の朝廷での地震対応は、古代以来の陰陽道に基づいて地震の発生要因を検討し、地震発生を次なる災いの予兆と捉えて、過去の先例について中国の古典を調査するという形式的な内容であった。そのため朝廷では、この勘文に基づいて何らかの具体的な対応が実行されたわけではなく、打ち続く有感地震を鎮めるために社寺に対して祈祷を命じる程度であった。このような朝廷での地震対応は、それ自体が先例を重視する形式的な内容ではあるが、古代より朝廷だけが実施できる半ば儀礼的な対応であったことは確かである。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
西山昭仁・原田智也, 2016, 明応七年(1498)の畿内における地震記録の検討, 2016 年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 6-7.

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要：

歴史資料などに基づき、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などの自然災害について、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて検討する。特に、東海・南海地方の歴史災害について研究を実施する。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所 佐竹健治・西山昭仁
他機関との共同研究の有無：有
東京大学史料編纂所 佐藤孝之・他 5 名

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所
電話：03-5841-5712
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：

- (13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：佐竹健治

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

首都圏に被害を及ぼす地震の解明およびその被害の実像

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

首都圏地震観測網 (MeSO-net) による観測を継続し、これらの観測点で得られた地震データを用いて、首都圏直下の速度構造や減衰構造に関する解析を進める。プレートの詳細な構造と地震活動との関係を解明し、将来発生が予想される首都直下地震の地震像を明らかにする。歴史地震の震度分布を理解するために、MeSO-net で得られた観測値とモデル構造で計算した値とで比較することで、首都圏の地盤の揺れの特性を解明する。MeSO-net で得られた観測値を利用して、災害の素因となる地域ごとの揺れの特徴を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、文部科学省委託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト (平成 24 年～28 年、代表：平田直)」のデータや成果を利用して、研究を進める。

平成 26～27 年度は、MeSO-net で得られた観測データを用いて、首都圏直下の速度構造および減衰構造を詳細に求め、その構造で地震波の伝播をシミュレートする。MeSO-net 観測点の直上で測ったデータをまとめて、地下の地震計と地表の地震計を比較し、伝達関数を求める手法を調査する。

平成 28～29 年度は、地下の地震計と地表の地震計の観測波形を比較して、伝達関数を求める。地震計の観測波形とモデル構造によるシミュレート波形を比較し、モデル構造を高度化する。

平成 30 年度は、伝達関数を利用して、首都圏直下で発生する地震に対して想定される揺れの分布を明らかにする。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

これまでに MeSO-net で得られた観測データを既存観測点のデータと併せて、解析・処理を進めた。それらのデータは、震源決定法・地震波トモグラフィー法等の手法を用いて、震源分布や地震波速度と非弾性定数の三次元的分布等の解析を進めた(図1)。今年度は、地下の地震計と地表の地震計の観測波形を比較して、伝達関数を求める計画であったが、開発中の地震計の納品が遅れ、満足なデータを取得できなかった。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度も、MeSO-net による観測を継続し、そこで得られた観測データを用いて、首都圏直下の速度構造および減衰構造を精緻化する。MeSO-net 観測点の直上で測ったデータをまとめて、地下の地震計の記録と地表の地震計の記録を比較し、顕著な地震波が観測されていない期間のデータを用いて伝達関数を求める手法を調査する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

酒井慎一、中川茂樹、平田直(東京大学地震研究所)
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 酒井慎一
所属 : 東京大学地震研究所

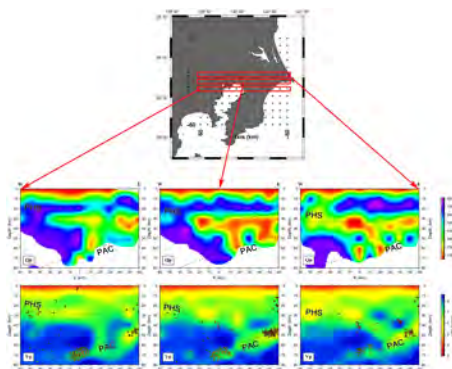


図1 首都圏下の Qp 構造と Vp 構造

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震災害に関する災害発生機構を重点的に解明する。特に、強震動が増幅され、人口密度が高い場合が多い堆積平野・堆積盆地などを対象にして、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26～28 年度においては、地震災害誘因の分析と、地震災害発生機構の解明に向けた地下構造モデルの構築を行う。具体的には、地震動などの地震災害誘因の分析のため、国内外の堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースを増強し、堆積平野・堆積盆地における地震動の増幅などの自然素因への作用を定量化する。また、地震災害誘因の事前評価と即時推定に資する地下構造モデルを構築する。

平成 29～30 年度においては、地震災害誘因の自然素因への作用の解明と、地下構造モデル化手法の国際展開を行う。堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明には、強震記録を用いた地

下構造モデルの検証とチューニングの反復改良が不可欠であるため、災害誘因の自然素因への作用の分析に使用する強震記録を逐次更新追加し、参画機関で共有すると共に、本研究計画におけるデータベースの相互研究推進に資する。また、堆積平野・堆積盆地における地下構造モデル化手法の国際展開を試み、国外の堆積平野・堆積盆地における適用妥当性を実地検証する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

平成 28 年度は、地震災害誘因の分析と地震災害発生機構の解明に向けた地下構造モデルの構築を行った。地震災害誘因の分析に関しては、国内の堆積平野において地震波干渉法を積極的に活用することにより、周期 1 秒までの首都圏の強震動シミュレーションに成功した。この成果は、観測とシミュレーションの応答分布の面的差分をとることで地下構造モデルの構築に役立てられる。また、国外の堆積盆地において、2015 年ネパール・ゴルカ地震およびその余震を対象として岩盤観測点の特徴を生かした分析を行い、カトマンズ盆地の地震動増幅特性を明らかにした。地震災害発生機構の解明に向けた地下構造モデルの構築に関しては、南海トラフ海域の付加体に対する構造インバージョンを実施し、計算結果が過大となる従来の S 波速度や層厚を修正した新たな地下構造モデルを構築した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- Miyake, H., 2016, Long- and short-period characteristics of megathrust source models and ground motions (invited), UK-Japan Disaster Research Workshop: Cascading Risk and Uncertainty Assessment of Earthquake Shaking and Tsunami.
- Miyake, H., 2016, Strong motion observation during and after the 2014 Northern Nagano earthquake, 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, P213H.
- Guo, Y., K. Koketsu, and H. Miyake, 2016, Propagation mechanism of long-period ground motions for offshore earthquakes along the Nankai Trough: Effects of the accretionary wedge, Bull. Seismol. Soc. Am., 106, 1176-1197, doi:10.1785/0120150315.
- Viens, L., K. Koketsu, H. Miyake, S. Sakai, and S. Nakagawam, 2016a, Basin-scale Green's functions from the ambient seismic field recorded by MeSO-net stations, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 2507-2520, doi:10.1002/2016JB012796.
- Viens, L., H. Miyake, and K. Koketsu, 2016b, Simulations of long-period ground motions from a large earthquake using finite rupture modeling and the ambient seismic field, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 8774-8791, doi:10.1002/2016JB013466.
- Bijukchhen, B., N. Takai, M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, 2017, Strong-motion observation and damage assessment in rock and soil sites of Kathmandu, Nepal after April 25, 2015 Gorkha earthquake, Proceedings of the 16th World Conference of Earthquake Engineering, Paper No. 1581.
- Shigefuji, M., N. Takai, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, 2017, Features of long-period ground motion on the Kathmandu valley for the 2015 Gorkha Nepal earthquake sequence, Proceedings of the 16th World Conference of Earthquake Engineering, Paper No. 4566.
- Takai, T., M. Shigefuji, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, 2017, Characteristics of strong ground motion in the Kathmandu valley during the 2015 Gorkha, Nepal earthquake, Proceedings of the 16th World Conference of Earthquake Engineering, Paper No. 4590.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度は、地震災害誘因の自然素因への作用の解明と、地下構造モデル化手法の国際展開を開始する。また、堆積平野・堆積盆地における地下構造モデル化手法の国際展開を試み、国外の堆積平野・堆積盆地における適用妥当性の実地検証に着手する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

三宅弘恵・瀧澤一起・古村孝志・ほか

他機関との共同研究の有無：有

東京大学大学院情報学環・北海道大学・信州大学・福井大学・広島大学・高知大学・独立行政法人
建築研究所・ほか

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：三宅弘恵

所属：東京大学地震研究所

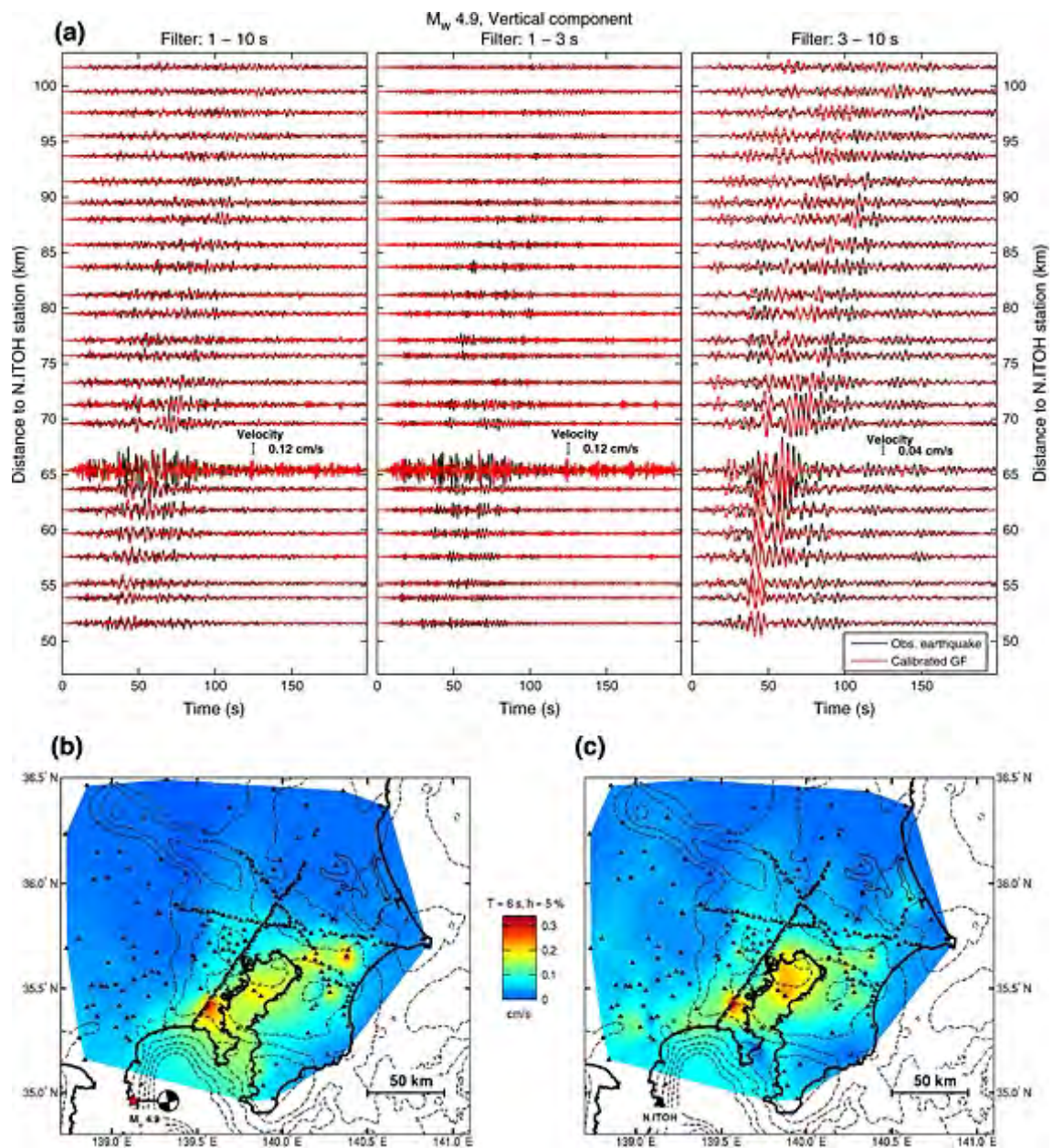


図1 地震波干渉法による首都圏の強震動シミュレーション (Viens et al., 2016a)

地震波干渉法を用いることにより、周期1秒までの強震動シミュレーションが可能となった。(a) 観測(黒線)とシミュレーション(赤線)の速度上下動の波形比較。(b) 伊豆半島の中規模地震によるMeSO-netおよび周辺観測点の観測地震動の擬似速度応答分布。(c) 地震波干渉法による同地震の強震動シミュレーションの擬似速度応答分布。Hi-net伊東を仮想震源とした。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

広帯域・高解像度強震動シミュレーションに基づく大地震の強震動評価の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大地震の複雑な断層破壊過程と、不均質な地下構造を適切に組み込んだ地震波伝播シミュレーションを実施し、過去の被害地震の強震動と津波被害発生要因を検証して、将来の想定地震の強震動・長周期地震動と津波の事前予測を行う。K-NET、KiK-net 等の高密度地震観測網データを解析し、強震動と長周期地震動の生成過程の理解を深める。高速スパコンを用いた高精度シミュレーションを実施して、観測データの再現とモデルの検証を行う。短周期～長周期地震動の高精度評価に向けて、シミュレーションモデルの高度化・精緻化をはかり、地震ハザード評価手法の改良を進める。本研究では、工学研究者と社会科学研究者との協働により、現代社会が有する多様な建造物の被害と社会影響に踏み込んだリスク評価へとつなげる。以上の目的解決に向けて、a) 強震動および長周期地震動による地震災害発生要因の研究、b) 強震動および長周期地震動予測の高度化に向けた研究、c) 将来の大地震の被害事前予測の研究、の 3 つを進める。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

(a) 強震動および長周期地震動による地震災害発生要因の研究

東北地方太平洋沖地震の国内外の強震計記録を再解析し、1 G を超える強い加速度を作り出した短周期地震動、超高層ビル等に影響を与える周期数秒程度のやや長周期地震動、および超大型石油備蓄タンクや将来の長大建造物に影響を与える可能性のある長周期地震動(周期 10~20 秒以上)につい

て、それぞれの周期帯毎の震源放射特性、伝播特性、各地の地盤増幅特性を明らかにする【H26・27年度】。特に、関東平野での高密度観測データ（K-NET・KiK-net、首都圏強震総合ネット SK-net、首都直下地震観測網 MeSO-net 等）を統合的に処理し、平野の3次元地下構造と短周期地震動～長周期地震動の伝播特性を詳細に把握する【H28・29年度】。

M9クラスの長巨大地震による長周期地震動の特性を明らかにするために、超巨大地震特有の断層運動として期待される、浅部プレート境界の大滑りと、深部プレート境界のゆっくり滑りが、長周期地震動の生成に与える影響を、シミュレーションに基づき評価する。ここでは、震源の静的特性（深さ・メカニズム等）と動的特性（滑り速度、応力降下量など）の二つの震源パラメータの効果についても検討する【26-30年度】。東北地方太平洋沖地震において、関東平野や大阪平野などで、やや長周期の生成が地震規模に比べ小さかった原因を明確化するとともに、日本海溝～千島海溝および相模トラフ～南海トラフ沿いでのM9地震シナリオに対する長周期地震動の生成特性について検討する【26・27年度】。

震源モデルのパラメータ設定の不確実性や、地震時の断層運動の再現性（不確実性）に伴う、強震動予測の不確実性を、各種震源パラメータを用いたシミュレーションを多数行ない、強震動予測の不確実性とそのバラツキの幅を調査する。具体的には、1）断層破壊方向に生まれる放射指向性（ディレクティビティ）効果が地震波放射指向性と周波数特性に与える影響、2）断層破壊過程の不均質性・揺らぎによるディレクティビティの抑制効果、3）断層破壊の時間差発生による強震動レベルと揺れの継続時間の増長の問題等に着眼した検討を行う【H26-28年度】。地震動評価のバラツキに対する、建物被害・人的影響のバラツキを評価し、予測誤差の拡大（または縮小）の可能性を検討する。バラツキのある強震動予測に対して、被害と社会影響の側から見た巨大地震の「最悪地震シナリオ」とは何か明確化する【H27-29年度】。

b) 強震動および長周期地震動予測の高度化に向けた研究

短周期～長周期の広帯域強震動予測の高度化に向け、地表・海底地形と、堆積層・地殻・マントル内の短波長不均質構造（多層構造で表現できない物性値の揺らぎ）を適切にモデル化し、数Hz以上の高周波数地震動の散乱を適切に評価することのできる高分解能シミュレーション法を整備する【H26・27年度】。短波長不均質構造により地震波散乱が強い減衰を起こす過程、散乱による地震動の継続時間の増長の問題、地震動の空間変動と局所的な増幅（フォーカシング現象）の発生可能性について検討する。こうした、地下構造探査による直接推定が困難な短波長不均質構造の存在が、強震動の予測の不確実性に与える影響を定量的に評価する【H27-29年度】。

震度に強く寄与する短周期地震動の高精度評価の実現に向け、表層地盤（数メートル以浅）における地震動の増幅特性を、全国のK-NET・KiK-net強震観測データ、および自治体震度計データを用いて評価する【H26年度】。地盤応答の非線形性応答を考慮し、強震時（震度5弱～）のサイト増幅特性の変化も調べる。得られたサイト増幅特性を用いて、緊急地震速報の震度予測への適用可能性・有効性を、過去地震の強震記録を用いて検討する【H26-29年度】。

広帯域強震動シミュレーションの実現に向け、高精度かつ安定な吸収境界条件を整備する。複雑な地表地形（空気/固体境界）と海底地形（海水/固体）を差分法（FDM）の直交格子に実装するために、適切な境界条件を整備する。地表付近の強い不均質性構造を組み込むことができる、マルチグリッドFDM（または、境界適合格子FDM）を開発する【H26-29年度】。

c) 将来の大地震の被害事前予測の研究

巨大地震による強震動、地殻変動、津波の複合災害の予測に向けて、地震動シミュレーションから得られた海底隆起・沈降の時空間的変動を適切に活用した、津波高・浸水シミュレーションを実施する【H26-29年度】。また、大地震の断層運動に伴う内陸の地殻応力の動的・静的変化（ただし、地殻は弾性変形を仮定）を評価して、大地震に伴う火山噴火や内陸地震の活発化、誘発地震の発生に与える影響を、関連項目の研究グループとの協働により検討する【H27-30年度】。

複数の地震シナリオに対する各地の強震動を迅速に評価するための仕組みとして、日本海溝、相模・南海トラフ沿いの小断層（10km*10km）毎に、各地の揺れ（グリーン関数）を計算して、地震動デー

データベースを構築する。そして、任意の地震シナリオに対する強震動をグリーン関数の重ねあわせにより合成する強震動合成システムを開発する【H26-28年度】。グリーン関数データベースは、震源インバージョンや地震波形解析のための基礎データとして公開する。これを用いて、大地震発生後すみやかに震源モデルを推定し、観測データの無い地点を含む全国各地の強震動を面的に推定する手法を、関連項目の研究グループと共同で開発する【H28-30年度】。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

1. 2016 年熊本地震による断層ごく近傍強震動

2016 年 4 月 16 日に発生した熊本地震の本震 (Mj7.3) では、震源断層沿いの益城町や西原村で震度 7 の激しい揺れを観測したほか、布田川断層沿いには熊本から阿蘇の 30 km の区間にわたって最大 2 m のズレを伴う明瞭な地表地震断層が現れた。

住宅倒壊や土砂災害など大きな被害をもたらした熊本地震の強震動の特徴と被害の成因を探るために、断層近傍で記録された強震動を調査し、過去に震度 7 を記録した 1995 年兵庫県南部地震や、2004 年新潟県中越地震の強震動と周波数特性を比較した。

熊本地震では、震源断層に近い、西原村や益城町の震度計 (加速度計) と KiK-net 益城観測点 (KMMH16) の加速度記録には、強い揺れの時間は十数秒と短いものの、1 G を超える激しい強震動が確認された (図 1)。これらの強震動の速度応答スペクトルには、木造家屋に大きな被害をもたらす、周期 1 ~ 2 秒の地震動成分が強く (>200 cm/s) そのレベルは、西原村では兵庫県南部地震 (M7.3) の鷹取地点や新潟県中越地震 (M6.8) の小千谷地点と同程度、益城町ではそれを大きく上回っていた (図 2)。こうした、この地震に含まれる周期 1 ~ 2 秒の強い地震動成分が木造家屋の被害に結びついた可能性が高い。一方、東北地方太平洋沖地震で震度 7 を記録した築館の強震動には、こうした成分は弱く (<100 cm/s)、震度の指標だけからは被害を正確に見積もることが難しい問題が再確認された。

2. 断層ごく近傍で発生する長周期地震動

熊本地震の本震では、周期 3 秒 ~ 10 秒の長周期地震動も強く発生し、熊本と阿蘇地方において気象庁長周期地震動震度階級 4 (最大ランク) が発表された。益城町や西原村の疑似速度応答スペクトル (図 3) には、前述の短周期強震動に加え、固有周期 3 秒 ~ 10 秒の長周期帯でも 200 ~ 300 cm/s の強い応答レベルが確認できた。これは、2003 年十勝沖地震 (M8.0) において石油タンクがスロッシング被害を起こした苫小牧地点 (HKD129; 図 3) のレベル (固有周期 7 秒前後で 120 cm/s) の 2 倍以上になる。熊本地震では、長周期地震動が原因と考えられる被害は報告されていないが、仮に布田川断層沿いに長大構造物があったならば、大きな影響を受けた可能性が高い。

布田川断層近傍の 4 観測点での加速度記録を積分して地動変位を求めると、断層ごく近傍の西原村と KMM005 観測点では数秒をかけて緩やかに西方向に動き、最終的に 2 ~ 1 m の大きな静的変位が残った。この量は、地表地震断層のズレの大きさに相当し、動きの時間変化は立ち上がり時間が 2.6 秒のランプ関数で良く近似できた (図 4 ; 緑線)。すなわち、断層の極近傍の観測点での変位記録の動きにおいて、断層運動により放射された地震動よりも、断層の動きそのものの寄与が圧倒的に大きいと判断できる。

なお、断層運動に伴う地震動 (Far-field term ; 遠地項) は、断層距離 (D) とともに幾何減衰 $1/D$ のオーダーで緩やかに弱まるのに対し、静的変位 (Near-field term ; 近地項 + Intermediate term ; 中間項) の幾何減衰はこれよりずっと大きく、 $1/D^2$ のオーダーで急激する。このため、断層ごく近傍で観測された、静的変位を含む断層運動に含まれる長周期地震動の成分は、断層から離れるにつれて急激に弱まる (図 5)。

これまで長周期地震動の特徴として、たとえば南海トラフ巨大地震 (M8.9) 地震において関東平野、濃尾平野、大阪平野などの大規模平野で何分間にもわたって長く続く揺れをイメージすることが多かった。だが、今回の内陸 M7 級地震で観測された、断層ごく近傍での長周期地震動は、揺れの継続時間は十数秒と短いものの、周期 3 ~ 10 秒以上の広い帯域で強烈なパワーを持つものであった。断層ごく

く近傍では、断層運動に伴う地震波放射の Directivity による断層直行方向の強震動だけでなく、断層の動き自体が作る断層平行成分も強い。こうした長周期地震動成分は、最大 10 m にもなる明瞭な地表断層を伴った 1999 年台湾集集地震 (M7.6) の石岡ダム (TCU068) 地点でも観測されるなど、断層が地表を切る浅い大地震で起きると考えられる。また、断層近傍長周期地震動の特性は、地震規模と断層運動の特性を強く反映する。台湾集集地震は規模が大きく、かつ断層滑り速度が遅かったため、長周期地震動のピークはより長周期側 (9.5 s) にあり、周期 2 ~ 5 では熊本地震の西原村より小さかった (図 4 ; 青線)。

3. 熊本地震震源域における減衰構造のトモグラフィー推定

2016 年熊本地震 (MJMA 7.3) の発生に伴い、熊本地震震源域における減衰構造のトモグラフィー推定を行った。2016 年熊本地震における一連の地震は、本課題で扱ってきた南西諸島から九州西方にまで延びる沖縄トラフの延長上にある、布田川断層帯および日奈久断層帯、別府-島原地溝周辺で発生している。本課題では、この地域の詳細な地震波減衰構造を調査するため、P 波および S 波の 3 次元減衰トモグラフィーを実施した。データは、防災科学技術研究所の Hi-net の波形記録 (期間 (2002/06 ~ 2012/05, 3.0 < MJMA < 6.0, イベント総数 743 個) で、3.0 ~ 30.0 Hz の帯域を使用した。使用した地震は、2016 年熊本地震よりも前のものである。トモグラフィーのグリッドは、水平方向に 0.125 ° 間隔、深さ方向に 5 ~ 50 km 間隔に設定した。

トモグラフィーの結果と余震活動を比較することにより、以下の特徴が明らかになった。本震の震源周辺に集中した余震の発生域は南西側の強い低減衰領域と北東側の布田川断層帯の強い低減衰領域の両者に挟まれている。布田川断層帯側に水平幅 10 km 程度の低減衰領域が分布しており、この領域では余震が少ない。この領域は Asano and Iwata (2016, EPS) によって推定された震源過程において、最もすべり量の大きかった領域に対応しており、断層内で強く固着されていたと考えられる。また、阿蘇や九重といった火山活動が活発な地域の周囲に、強い高減衰域があり、この領域の地震の震源は浅くなっている。地下での高温なマグマの供給により、地震発生層の下限が変化していると考えられる。さらに、深部のフィリピン海プレートからの脱水による upwelling を示していると考えられる高減衰域が熊本地震の震源域の直下まで認められる。これは、この upwelling による水の供給が地震発生に関与していることを示唆している。

4. 太平洋スラブ深部の不均質構造による導波効果の強化

近年のレシーバ関数解析によるスラブ深部構造の調査や、スラブの物性・熱力学的研究、そして遠地地震波伝播・波形解析に基づいて、スラブ深部のおよそ 410-660 km で相転移遅れによる低速度異常が薄いくさび形に伸びた状態で存在する (MOW: Metastable Olivine Wedge) ことが議論されている。北海道西方沖~ウラジオストックを震央とする、日本海下の深発地震 (h=200~570 km) の広帯域地震波形を詳しく調べたところ、深さ 400 km 以深の地震において S 波初動部の波形が変化し、低周波数の先駆波が見られることがわかった。後続の高周波数の到着時刻との時間差が震源の深さとともに増大する特徴は、スラブ内部に薄い低速度層 (MOW) が存在し、先駆波は MOW の下面を屈折波として伝播し、後続相は MOW 内部を遅く伝わることで良く説明できる。

2010 年 2 月 12 日に発生したウラジオストックの深発地震 (h=578 km, Mw6.8) の地震波形を、こうした不均質なスラブ構造をモデル化した 2 次元差分法に基づき計算したところ、MOW の幅は 100 km (深さ 410km) ~ 10km (深さ 660km) 程度の大きさを持ち、P 波速度は -5%、S 波速度は -7% 程度の低速度異常を考えたモデルが観測された地震波形を良く説明することを確認した (図 7)。

こうした、スラブ深部のくさび状の低速度異常は、およそ周波数 2 ~ 4 Hz 程度の地震動をスラブ上部に向けて強く放射する効果があることも確認できた。その効果は MOW 頭部の厚さが 100 km 前後で最大となり、MOW が存在しない場合の 3 倍以上の導波効果がウラジオストックの深発地震の波動伝播シミュレーションから確認できた。また、この地震の地震波伝播の 3 次元数値シミュレーションから、深発地震が MOW 内部で発生した場合には、スラブ深部に MOW が存在することで、北海道から関東にかけての太平洋岸では最大加速度が数倍大きく増幅され、かつ S 波の継続時間が長く延びる強い異常震域が現れること、そして、これが観測を良く説明することを確認した。

以上のように、スラブ内部を伝わる地震波は、スラブ内部の多様なスケールの不均質構造の影響を強く受けており、地震波の導波効果には強い周波数依存性と震源の深さ依存性があることが確認できた。従って、深発地震による、高周波数かつ長い継続時間を持つ強震動の予測には、スラブ内の不均質構造の把握と、スラブ内部構造を適切にモデル化した大規模数値シミュレーションが不可欠である。

5. 関東平野の3次元地下構造を考慮したリアルタイムモーメントテンソルインバージョン

関東平野の堆積層構造とプレート構造を考慮した3次元地下構造モデルを用いて、関東周辺で発生する地震について、水平・鉛直方向に10 km間隔でグリーン関数を計算し、データベース化した。1次元地下構造を仮定して求めたグリーン関数(3次元グリーン関数)との比較を行なったところ、波線が堆積層を通過し表面波の励起が強い地震や、プレート内を遠距離伝わる地震伝播経路で3次元地下構造の影響が大きく、グリーン関数の初動到着時刻、P波S波振幅、後続相の継続時間の違いが大きくなることが確認された。また、3次元グリーン関数と1次元グリーン関数の違いは、地震波の周期帯が短いほど大きくなること、関東周辺で発生する地震においては、周期30~50秒の長周期帯でも差が見られることを確認した。

次に、3次元グリーン関数をリアルタイムモーメント・テンソルインバージョンシステム(Grid MT; Tsuruoka et al., 2009)に導入し、関東周辺の地震活動モニタリングを行った。2016年11月~12月の1ヶ月間に11個の震源を求めたところ、半数以上において従来の1次元グリーン関数を用いたインバージョン結果より波形の説明が良いことを、波形の一致具合(Variance Reduction)から検討した(図8)。なお、モニタリングは継続中であり、推定結果の気象庁一元化震源による震源位置の確認やプレート上面深度との関係等からの結果の妥当性の検討を行うとともに、現在30秒までの解析周期帯を、より短周期に拡大するなど、リアルタイムモーメントテンソルインバージョンの精度向上をはかる。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

Furumura, T., Destructive near-fault strong ground motion from the 2016 Kumamoto Prefecture, Japan, M7.3 earthquake, Landslides, accepted, 2016.

古村孝志(2016)昭和南海地震から考える、次の南海トラフ地震と前後の内陸地震への備え、日本地震工学会 NewsLetter、16号、pp2.

Furumura, T., BLN Kennett, and S. Padhy, Enhanced waveguide effect for deep-focus earthquakes in the subducting Pacific slab produced by a meta-stable olivine wedge, J. Geophys. Res., accepted, 2016.

Kennett, BLN, and T. Furumura, Multi-scale seismic heterogeneity in the continental lithosphere', Geochemistry, Geophysics, Geosystems. G3, vol. 17, no. 3, pp. 791-809, 2016.

Yoshimitsu, N., T. Furumura, and T. Maeda, Geometric effect on a laboratory-scale wavefield inferred from a three-dimensional numerical simulation, J. Appl. Geophys., 132, 184-192, doi:10.1016/j.jappgeo.2016.07.002, 2016.

Maeda, T., H. Tsushima, and T. Furumura, An effective absorbing boundary condition for linear long-wave and linear dispersive-wave tsunami simulations, Earth Planets Space, 68, 63, doi:10.1186/s40623-016-0436-y, 2016.

Noguchi, S, T. Maeda, and T. Furumura, Ocean-influenced Rayleigh waves from outer-rise earthquakes and their effects on durations of long-period ground motion, Geophys. J. Int., 205(2), 1099-1107, doi: 10.1093/gji/ggw074, 2016.

Takemura, S., T. Maeda, T. Furumura and K. Obara, Constraining the source location of the 30 May 2015 (Mw 7.9) Bonin deep-focus earthquake using seismogram envelopes of high-frequency P waveforms: Occurrence of deep-focus earthquake at the bottom of a subducting slab, Geophys. Res. Lett., 43, 4297-4302, 2016.

(10) 平成29年度実施計画の概要:

(1) 平成28年度に継続し、関東平野等での主要平野における長周期地震動増幅強度の方位性とその

成因を、地震観測データ解析と地震波伝播の差分法シミュレーションに基づき検討する。成果を、南海トラフ地震等の巨大地震による長周期地震動の予測の高度化に繋げる。

(2) 深発大地震に伴う高加速度強震動の予測に向け、深発地震による高周波数かつ長時間継続する強震動の生成過程を、不均質なスラブ内部の地震波の伝播・導波特性と鉛直入射波の地殻での増幅特性の観点から詳しく検討する。

(3) 2016 年熊本地震や鳥取県中部地震のデータ解析を通じて西南日本と東北日本の表面波伝播の地域性と地下構造との対応を明確化し、浅い地殻内地震による強震動と長周期地震動の伝播特性と予測精度の向上をはかる。

(4) H28 年度に引き続き、南西諸島全体のシームレスな減衰トモグラフィーを実施し、熊本地震等の震源域周辺の減衰構造との比較から、地震発生との関係を調査する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

古村孝志・他(参加人数 6 名程度)

他機関との共同研究の有無 : 有

東大情報学環、東大生産技術研究所、岡山大学理学部ほか

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 古村孝志

所属 : 東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震動・津波誘因の長期予測情報コミュニケーション

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(3) 関連研究分野との連携の強化

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震動誘因や津波誘因の不確実な長期予測情報が、災害軽減に有効に役立つためのコミュニケーション手法を確立することにより、長期予測情報の高度化に貢献する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26～28 年度には、サーベイ調査や海外調査などを行って、我が国におけるコミュニケーション手法の問題点を明らかにする。その上で平成 29 30 年度に人文・社会科学分野の方法論などを援用しながら問題点の解決策を検討し、新たなコミュニケーション手法を確立する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

2016 年熊本地震の発生に伴って、益城町などで建物被害や避難状況の現地調査を緊急で行った。聞き取り調査では、4 月 14 日の地震で避難したため、16 日の地震による建物全壊で人的被害を受けることを免れた例があった。また、地震動予測における震源断層の想定に関する研究を行い、事前に震源断層の面積を予測することは困難であるが、地表地震断層の長さを予測することはある程度可能であることがわかった。

我々の生活においてリスクとなるものとしては、地震や犯罪、環境汚染や食品など様々なものが存在する。地震予測が防災の実現へと結びつくためには、地震に対する人々のリスク認知の特徴を明らかにし、その特性に応じた地震予測を提示する必要がある。本年度は、主に犯罪に対する人々のリスク認知と地震に対する人々のリスク認知の比較を行うため、アンケート調査を実施した。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Koketsu, K., 2016, Scientific aspects of the Tohoku earthquake and Fukushima nuclear accident, Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-13645-1.
Koketsu, K., 2016, “ Strong Ground Motion Assessment Scheme for Specified Source Faults ” and the Kumamoto earthquake, 11th Asian Seismological Commission General Assembly, Paper ID 90.

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

28 年度に行ったアンケート調査の結果の分析を行い、主に犯罪に対する人々のリスク認知と地震に対する人々のリスク認知を比較する。この比較に基づいて、地震に対する人々のリスク認知の特性を考察する。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所・災害科学系研究部門

他機関との共同研究の有無 : 有

慶應義塾大学 , 同志社大学 , 東京都市大学 , 東北大学 , 土木研究所など .

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

- (13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 瀧澤 一起

所属 : 東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

データ流通網の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

全国の陸域および海域に展開された地震・地殻変動・火山等の各種観測網から得られる大容量・多項目のデータを、リアルタイムで効率的に流通させるためのシステムを構築・運用・高度化し、全国の観測研究をデータ流通基盤として支える。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題で取り扱うデータ流通網は、基本的に実施機関および共同研究機関の運営費交付金によって運用・維持されるものである。5 ヶ年を通して、高速広域ネットワークを利用した観測データ流通網 JDXnet の安定的な運用と機能の高度化を行う。その中で特に以下を進める。

- (1) 災害時に強いデータ収集・中継システムの構築。
- (2) 超大容量・多項目データ流通のための効率的な通信方式の開発。
- (3) 観測メタデータの効率的なハンドリングシステムの開発。
- (4) データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発。
- (5) 接続機関の拡大。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

データ流通の基盤ソフトウェアである WIN システムにおいて現状のデータ差分だけでなく差分を取らないデータフォーマットオプションを追加しそのテストを実施している。

松江DC中継の観測点を1点稼働させた。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

鷹野 澄・鶴岡 弘・中川茂樹・大湊隆雄・平田 直

他機関との共同研究の有無 : 有

地震、地殻変動等、火山の各観測データの流通協定に参加する各機関(*)とそのデータ流通システム担当者が共同研究に参加する。

(*) 北大・弘前大・東北大・東大・東工大・名大・京大・高知大・九大・鹿児島大・防災科研・気象庁・JAMSTEC・産総研・国土地理院・地震予知総合研究振興会・国立天文台・北海道・青森県・東京都・神奈川県・静岡県。

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 鶴岡 弘

所属 : 東京大学 地震研究所 地震火山情報センター

- (1) 実施機関名：
東京大学地震研究所
- (2) 研究課題（または観測項目）名：
研究成果共有システムの構築
- (3) 最も関連の深い建議の項目：
4. 研究を推進するための体制の整備
(2) 研究基盤の開発・整備
イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通
- (4) その他関連する建議の項目：
4. 研究を推進するための体制の整備
(2) 研究基盤の開発・整備
ア. 観測基盤の整備
ウ. 観測・解析技術の開発
- (5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：
- (6) 本課題の 5 か年の到達目標：
本計画で得られる速度構造モデルやソフトウェアを含む研究成果をデータベース化し，それらを容易に共有できる仕組みを構築する．また，基礎データを自動解析し，解析結果を自動的にアップデートできるシステムを構築する．
- (7) 本課題の 5 か年計画の概要：
1. 研究成果を容易に共有できる仕組みの構築
クラウドサービス等を利用し，Web サーバ等に情報共有・成果共有の仕組みを構築する．震源過程解析結果の可視化ツールを開発する．
2. 速度構造モデル共有に向けてのフォーマット等の作成
コミュニティのなかで標準あるいは基準となるような速度構造モデルを目標に作成する．
3. 応用解析のための基礎データを作成するプログラムの開発
東京大学地震研究所の並列計算機システム (EIC) 上で動作可能な並列化されたプログラム群を開発する．
- (8) 平成 28 年度の成果の概要：
マグニチュードとして観測系列およびそのブートストラップゲーテンベルグリヒター則の 3 種類での ETAS パラメータを使用したシミュレーションができる機能，および地震活動変化点を網羅的に検索する機能など，地震活動解析システム XETAS の機能拡張を実施した．また，大規模連続地震波形データ解析システムの保守体制の整備を実施した．
研究成果共有サーバにおける H P のアップデートおよび wiki などを整備した．

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者 : 鶴岡 弘・中川茂樹(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

山中佳子(名古屋大)・大見士朗(京都大学防災研)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 鶴岡 弘

所属 : 東京大学 地震研究所 地震火山情報センター

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

衛星赤外画像による噴火推移の観測と類型化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

噴火推移の体系的分析は，噴火事象系統樹の全体像 多様性・タイプ等 の把握に密接に関係すると共に，推移の違いを生む原因を探る上でも重要な鍵となるが，これまで基盤となる適当なデータセットがなく困難であった．衛星を用いた広域観測により噴火推移データの効率的収集ができ，これらを基にすることにより噴火推移の系統的な整理・検討が可能となる．本計画は，この衛星赤外画像データに基づく噴火推移解析を，次世代衛星データの導入と複合的解析方法の開発の両面から高度化し，その多様性の把握と類型化に関する研究を進めることを目的とする．このような研究が進めば，リアルタイム観測の変化から類型を推定し，イベント発生に先行して現れる特徴的な変化パターン - 例えば単純には，爆発的噴火に先行して現れる熱異常の低下等 - を捉えることにより，噴火推移の予測に繋がられる可能性もある．

噴火は，極論すればマグマや高温ガスが地表に噴出する現象と見做すことができ，この熱が地上にもたらす温度変化やその空間的拡がりに関する情報を高頻度型衛星赤外画像で観測することにより，間接的にマグマやガスの放出状況とその時間変化パターンを捉えることができる．他方，静止衛星による超高頻度観測により爆発的噴火の発生に関する噴煙の発生状況等に関する詳しい情報を得ることができる．両者を組合せることにより，マグマやガス放出状況の時間変化に対して，どのようなタイプ・規模の爆発的噴火がどのようなタイミングで発生しているのか あるいはしていないのか 等を

比較分析し、噴火推移の特徴を抽出することが可能となる。これをベースに、独自の複数指標によるパラレルタイムラインチャートによる複合的解析手法の開発と高度化を進め、噴火推移のデータベース化と類型化を行う。観測の結果はリアルタイムで公開し、観測網が乏しい東アジアの基盤的観測の一翼を担えるようにする。

計画期間内の平成 27-28 年度に我が国の 2 つの新衛星 GCOM-C1 と次世代「ひまわり」の運用が開始される予定であり、これらを現在の衛星観測システムに導入することにより、観測能力の各段の向上を図る。GCOM-C1 は JAXA の気候変動観測衛星で、新センサー SGLI が搭載されており、分解能が現在主力の MODIS の 1km から 250m に向上する。SGLI データを観測システムに組み込むことで、リアルタイムで火口位置や噴出物分布域等を知ることが可能となる。同時に、Web ベースのシミュレーションツール（溶岩流、火砕流等）を開発し、SGLI の観測結果と同サイトに置くことで、現地 - 東アジア各地を含む - で、噴火状況に応じて災害域の予測を、直接かつ即時できるようにする。次世代「ひまわり」も赤外バンドが分解能 2km、観測頻度 10 分毎となり、噴煙や爆発的噴火の発生状況等に関する観測精度が格段に向上する。さらに、ALOS-2 等に小型赤外カメラ（CIRC 等）が搭載され、これらの火山観測への応用について JAXA/EORC と共同で検討を進める。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

衛星赤外画像による東アジア活火山リアルタイム観測・情報発信システムを引き続き運用し、噴火データの収集と解析を進めると共に、観測システムの高度化を図る。

研究は以下のように進める。平成 26-27 年度：新衛星 GCOM-C1/SGLI、次世代「ひまわり」画像解析ルーチンを開発し、システムへの組み込みを実施する。これにより、リアルタイムで細かな噴火情報の収集が可能となる。得られたデータはアーカイブシステムに蓄積する。また、衛星搭載赤外カメラの利用検討を行う。平成 28 年度：性質の異なる複数のインデックス - 熱異常の強さや規模、噴煙の状況 - をパラレルタイムラインチャートとしてプロットし、時間変化パターンや相互関係から噴火推移を多角的に推定する方法の開発を進める。平成 29-30 年度：Web ベースの火砕流・溶岩流のシミュレーションツールを作成しシステムに組み込む。また、アーカイブを含め噴火データをパラレルタイムラインチャート等により解析すると共に、噴火推移の類型化研究を進める。結果は関連データと併せデータベース化し、Web 上で公開する。国内噴火等観測データが豊富な事例を使って、マグマシステムとの関係など推移の違いを生む原因の検討を行う。なお、噴火が発生した場合はデータ収集のため、必要に応じて現地調査を実施する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

H28 年度は、前年度に開発したひまわり 8 号 AHI 画像及び GCOM-C SGLI 画像処理システムのプロトタイプを基に、正式運用のためのシステム開発を進めた。AHI 画像については、データダウンロード、補正処理、アーカイブの正式運用システムを完成することができ、一般公開用の Web システムの開発を引き続き進めている。また、SGLI 画像については、正式運用に向け、補正処理、アーカイブシステムの開発を終え、同様に一般公開用の Web システムの開発を進めている。GCOM-C の打ち上げが、2016 年 12 月から約 1 年間延期されることが本年度後半になって JAXA から発表された。このため、JAXA と共同で calibration/validation の期間に行うこととなっていた SGLI データ転送ルーチンのチェックは、H29 年度以降へ持ち越しとなった。

一方で、H27 年度から引き続いてインドネシア、ラウン火山 2015 年噴火に関する噴火推移解析を進めた。H28 年度はとくに高分解能画像の解析を中心に行った。

ラウン火山は標高 3320m とインドネシアでも有数の大型成層火山であり、この山頂部に直径約 2? のカルデラをもつ。ここで 2015 年 6-8 月にストロンボリ式噴泉を伴う規模の大きい噴出的噴火が発生した。しかし、噴火が山頂カルデラ内で起きたため、地上から目視観測できず、詳しい噴火推移は不明となっている。そこで、H27 年度よりひまわり 8 号 AHI の 10 分間隔という超高頻度赤外画像を用い、噴火活動に伴う熱異常の時系列変化を解析し、噴火推移の推定を行って来た。H28 年度はこの結果と

高分解能衛星画像，ASTER-DEMの解析を組合せ，より詳しい噴火推移の推定を行った．この結果，以下の点が明らかとなった．

ラウン火山6-8月噴火は，火山灰を除く総噴出量が $7.8 \times 10^7 \text{m}^3$ 程度と見込まれ，この大半を占める溶岩が，カルデラという限定された空間に $1.4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{day}$ という高い噴出率で噴出した．堆積した溶岩は層厚の増加に伴って次第に溶岩流から溶岩湖に似た「溶岩プール」へと変化した．この活動はひまわり8号AHIの熱異常の時間変化から，前駆ステージ，パルス1，パルス2，終息期の4つのステージに分けられる．この溶岩プールを形成する溶岩層は下部溶岩と上部溶岩に区分され，下部溶岩の噴出がパルス1，上部溶岩の噴出がパルス2のステージに対応する．前駆ステージと終息期は高温ガスあるいは噴気の放出のみである．

6月14日(UTC)から微弱な熱異常が表れ始めた(前駆期)．火口丘の火口内の小孔内が赤熱していることから，これはマグマの上昇に伴って高温ガスの放出が増加したためと推定される．このような状態が一週間程続いた後，6月20日に，火口丘の北西側基部から下部溶岩の噴出が始まった(パルス1)．噴出率は当初から徐々に上がり，7月初頭には $2.0 \times 10^6 \text{m}^3/\text{day}$ の高いレベルとなり，これが25日頃まで続きその後低下に向かった(この部分は高分解能画像では捉えられていない)．噴出した溶岩は7月上旬頃までにカルデラ床の大部分を覆い，7月下旬には平均層厚が数10mを超えるに至った．このため溶岩層は溶岩プールといった状況になり，溶岩層内部の流動により表面が水平に近くなり，分布域の外形が等高線とほぼ一致するようになった(この性質を利用して噴出量の推定を行った)．新たな溶岩の噴出により溶岩層表面のレベルが上昇し，周縁部ではカルデラ壁とこれまでの溶岩層表面の隙間を埋めるように内部から溶岩が湧き出し広がった．今回の活動では溶岩は基本的に規模の大きいロープをつくって噴出したが，このような周縁部では小規模なロープが形成された．また，この7月下旬には高温物質が北東の斜面に放出され，森林火災が発生した．

この後，上部溶岩の溶岩噴出が8月1日から始まった(パルス2)．この噴火開始に5時間ほど先行して小さな熱異常のパルスが発生している．溶岩の噴出率は急増し8月2日には高レベルに達した．噴出した上部溶岩は下部溶岩の上位に扇状に一挙に広がると共に，一部がカルデラ床東端へ流れ込み，下部溶岩が達していない場所を埋めた．加えて溶岩プールを構成する溶岩層の内部に噴出した溶岩が流入し，溶岩プール全体の表面を押し上げた．噴出は徐々に低下し，13日頃にはほぼ完全に停止し，ガス放出のみとなった(終息期)．この時点で平均層厚は50m程度と推定される．カルデラ床にある火口丘は活動に伴って成長したが，溶岩の噴出終了後，しばらくして崩壊した．これは恐らくマグマのドレインバックによると推定される．

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10)平成29年度実施計画の概要：

GCOM-C打ち上げが，2016年12月から2017年12月へと1年延期となった．このため，H29年度にSGLIのcalibration/validationの期間に，データ転送ルーチンのチェックに着手する．また，GCOM-C SGILのデータ利用開始は2018年春以降の見込みとなった．このため，本年度は「ひまわり8号AHI 超高頻度観測」「GCOM-C SGIL - 中分解能・中頻度観測」「商用高分解能衛星 超高分解能観測」の3つを組合せた「火山超高分解能・超高頻度観測システム」の運用に向けた試行テストとシステム改良を継続して行う．GCOM-C SGILのリアルタイムデータと組合せて，リアルタイムシミュレーションを行うためのWebベースのシミュレーションシステム(火砕流，溶岩流等)の開発も，並行して進める．

一方，噴火解析については，本年度はブルカノ噴火を中心とした噴火推移に焦点を絞り，系統的解析を進める．これらの事例として，カムチャッカ半島のシベルチ火山，カリムスキー火山の2015～2016年の活動を取り上げることが予定している．その他，桜島，ジャワ島スメル火山等の活動がH29年度内に活発化した場合は，これらも含める．これまでのひまわり8号AHIによる超高頻度観測では，ブルカノ噴火では，非対称のノコギリ型の熱異常パルス(2～3時間スケール)が，しばしば特徴的に表

れることがわかっている。この発生時期前後の高分解能画像を解析し、地質学的状況から実際にどのような活動があったのかを検討する。とくに、桜島等国内でデータの収集ができた場合は、地震、地殻変動、ガス放出等の観測データと併せて解析を進め、非対称ノコギリ型熱異常パルスが実際にどのようなブルカノ噴火に対応しているのかを明らかにすると共に、そのメカニズムに関する検討も進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

担当者：東京大学地震研究所 金子隆之

分担者： " 安田 敦

他機関との共同研究の有無：有

JAXA/EORC (GCOM-C/SGLI , ALOS-2/CIRC データの利用について)

ロンドン大学キングスカレッジ (データ解析について)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：金子隆之

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海底での地震・地殻変動観測に向けた観測技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震予知の基礎的観測研究を行う上で、海洋プレートの沈み込み帯でのプレート境界地震及びスロースリップイベントが繰り返し発生している場の直上である海底での、地震・地殻変動観測は重要である。陸域と同等な観測をこの海底で実現させるという基本的観点から、これまでも長期高密度な機動的な地震観測、機動的な強震観測、機動的で長期の広帯域地震観測、新方式のケーブルシステムによる定常的地震観測、などをこの 10 数年で実現させてきた。海域での地震・地殻変動観測をより高度化させるため、陸上と同等な広帯域地震観測を海域で機動的に行う技術開発、超深海域での機動的な地震観測の実用化、海底面での機動的な水圧(上下変動)観測と傾斜観測の面的展開技術の実用化、および定常的な海域観測網の高度化、などを今後の技術開発の課題として取り組む。

これらの観測技術開発を進展させることで、研究基盤の整備を目指す。その結果として、海域での地震・測地観測の高度化を図り、プレート境界の地震発生帯その場でのモニタリングを可能とさせて、今後の地震発生の予測へ貢献する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本研究課題では、明確な年度計画は設定せず、後述の開発項目のうち予算的裏付けと試験観測が可能となったものを順次進めて行く。その理由として、これらの機器開発の予算はその大部分を科学研究費や運営費交付金(地震研内のセンター経費・所長裁量経費など)で賄っていること、及び試験観測には研究船利用(潜水艇も含む)が必要であり、その実行には不確定要素が多いためである。

機動的観測での主たる開発項目は、

- ・次世代型広帯域海底地震計の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化、
- ・超深海域で長期(広帯域)地震観測の実用化、
- ・面的展開が可能な海底面での傾斜観測の実用化、
- ・長期安定した精密水圧観測への観測手法と次世代圧力センサーの開発、

とする。一方、定常的観測としては、

- ・高信頼性を保ちつつ、対費用効果をあげるケーブルシステムと海底孔内観測システムの統合的開発、
- ・研究の進展に伴い観測を高度化できる、また、大規模展開に適したケーブルシステムの開発、
- ・機動的観測を視野に入れたケーブルシステムの開発、
- ・GPS/A 等の地殻変動観測への拡張、

を開発項目とする。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

機動的観測での開発に関しては、次世代型広帯域海底地震計(BBOBS-NX)の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化に向けた具体的機構設計を行い、2016年10月には最初の実海域試験を実施した。この結果を基に、2017年4月に実施予定の長期試験観測開始に向け、実用的試験機としての改修を進めた。昨年度は、BBOBST-NX(傾斜観測機能付きBBOBS-NX)の水面投入から着底時までを初めて加速度および画像記録で状況確認を行い、降下中に ± 12 度を超えるような傾斜変動が数秒周期で継続し、その最後の姿勢が着底時の傾斜を決定しているように見える事が判明した。開発中の自律展開設置・自己浮上方式の新型機(NX-2G、図1)では、海底に貫入させたセンサー部を回収時に引き抜くため約75kgf以上の浮力を必要とし、そのため浮力体(ガラス球浮き)を追加した。その際、記録部であるチタン球(直径65cm)が設置投入後の降下中に起こす傾斜変動を抑制することを狙い、チタン球赤道部3箇所から浮力体への結束を行った。10月の実海域試験は、2015年三陸沖に敷設したITCを用いた海底光ケーブル式地震津波観測システムの先端観測ノード(YOB3)の状況確認と併せて、備船により実施した(図2)。NX-2G試験機には、昨年のBBOBST-NX投入時と同様にビデオカメラおよび加速度ロガー(今回はチタン球内に固定)を装着し、水中降下から着底までの試験機の状態を記録した(図3)。投入後、無人潜水艇で観測ノードの観察を行ってから、NX-2G試験機を捜索し、ほぼ傾斜せずに適切な状態で着底(センサー部の海底面への貫入)が行われたことを確認した。次に、図1に示す観測状態・回収状態への遷移動作がほぼ正常に行われることを確認した。但し、センサー部は浮力(今回は約75kgf)がかかってから2分以上経過した時点で、完全に堆積物から抜けた。無人潜水艇でNX-2G試験機を揚収した後に、加速度ロガーの記録を調べると、図4右のように、BBOBST-NX単体での降下時に見られた大きな傾斜変動(図4左)が大幅に減少していることが分かった。海面からの投入直後の傾斜記録を見ると、追加した浮力体が海中に引き込まれるまでの間はNX-2G試験機も大きな傾斜変動をしているが、浮力体による張力がかかるとそれが抑制されている様子が見られた。この方法により、BBOBS(T)-NXの設置においても、着底時の大きな傾斜の発生を避けられることが期待できる。2017年4月に実施する長期試験観測に向けて、年度末までにNX-2G試験機の改修(使用部材のTi化など)を進めている。なお、水晶共振方式加速度センサーの評価試験は、地震研究所の鋸山観測抗および海洋研究開発機構の荒木博士が開発した高精度振動台を用いて継続して実施、製造元であるParoscientific社との機能高度化に向けた協議を続けている。

定常的な海域観測網の高度化については、復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび2015年に設置した新規開発した海底光ケーブル式地震津波観測システム(OBCSTシス

テム)の両方を用いた併行観測を実施した。また、システムの保守および、観測システム、特に陸上システムの改良を実施した。OBCSTシステムは、短いサンプリング間隔のデータを、海底から陸上局へ送っており、これらのデータは陸上局舎で記録されている。これらの高サンプリングデータを、陸上局からデータ流通網に送ることは現実的ではないために、デシメーションを行い、適切なサンプリング間隔として、データ流通網に伝送する。その際に用いるデシメーションフィルターの再構成を行うと共に、チャンネル毎に異なるフィルターを選択できるようにした。一方、水圧データについては、計測されたデータを圧力値に変換して、伝送している。その際のデシメーションの方法を再検討し、実装した。また、OBCSTシステムについて、得られたデータを用いた観測システムの評価も実施した。海底に設置された観測システム(図5)の地震学的雑微動の把握は、今後の観測のために重要なことである。そこで、OBCSTシステムの地震学的雑微動スペクトルを求めた。その結果、OBCSTシステムにおける地震学的なノイズは、2Hzより高い帯域および10秒よりも長い帯域で、十分に低く、海底における典型的なノイズレベルとほぼ同じであることがわかった。これは、1996年に設置された既設システムともほぼ同レベルである。地震学的ノイズ軽減には、地震計の埋設が効果的であることが知られているが、埋設された観測ノード(YOB1)については、他の観測ノードよりも、低い雑微動レベルであることもわかった。水圧観測には、水晶発振式水圧計を用いており、温度変化に敏感である。そこで、水圧計センサーは同時に温度も計測し、圧力データの補正に用いている。計測された温度データから、埋設した観測ノード(YOB1)の水圧計(YTM1)における短周期の温度変化は、海底に設置した観測ノードの水圧計に比べて、小さいことがわかった。海底設置の水圧計(YTM2及びYTM3)では、海水の温度変化に起因すると考えられる短周期の温度変化が認められるが、埋設した観測ノードは、電源投入時から徐々に温度が上昇し、一定温度となり、周期の短い温度変化はほとんど見られない。それぞれの水圧計で記録された潮汐変化の比較を行い、埋設した観測点の水圧計の感度が、海底面の水圧計に比べて、著しく変化しているとは認められないことがわかった(図6)。

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Y. Fukao, H. Sugioka, A. Ito, H. Shiobara, J. M. Paros, and R. Furue, Sensing of upslope passages of frontal bores across the trench slope break of the Japan Trench, *J. Geophys. Res.*, 121, doi:10.1002/2015JC011432, 2016.

H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, M. Shinohara, NX-2G : autonomous BBOBS-NX for a highly mobile broadband seismic observation at the seafloor, EGU General Assembly 2016, Vienna, Austria, April 21, 2016, EGU2016-3189, 2016.

Shinohara, M., T. Yamada, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa,, Development and installation of new seafloor cabled seismic and tsunami observation system using ICT, OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, 1-4, 10.1109/OCEANS.2016.7761350, 2016.

Shinohara, M., T. Yamada, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa, Installation of new seafloor cabled seismic and tsunami observation system using ICT to Off-Tohoku region, Japan, SubOptic 2016, WE2B-4, 2016.

篠原雅尚・山田知朗・酒井慎一・塩原肇・金沢敏彦, 新規開発した ICT 光海底ケーブル式地震津波観測システムの設置、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、STT51-05, 2016.

篠原雅尚・山田知朗・酒井慎一・塩原肇・金沢敏彦, 三陸沖における新規海底光ケーブル式地震津波観測システムの設置、日本地震学会 2016 年度秋季大会、S02-06, 2016.

(10)平成29年度実施計画の概要：

機動的観測での開発に関しては、2017年4月に実施予定の観測航海において、2015年9月に宮城沖日本海溝陸側斜面の地点(水深5400m)に設置したBBOBST-NXの回収、福島県沖での新規BBOBST-NXの設置、と併せて、NX-2G試験機での長期試験観測を開始する。これは特別推進研究(代表:日野亮太)の観測研究の一環である。また、2015年7月に房総沖のKAP3地点(水深1200m)へ設置した

BBOBST-NX の回収も予定している。これら 2 地点で約 2 年間の海底での傾斜変動記録が取得されるので、2013～2014 年に房総沖で得た記録だけでは不明であった現象に対して、原因解明が進むことを期待している。

定常的な海域観測網の高度化については、復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび新規に設置した新規開発観測システムの両方を用いた併行観測を引き続き行い、システムの保守および、観測システムの改良を継続して実施する。また、新規開発システムについては、長期間得られたデータを利用した観測システムの評価も実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

塩原肇・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・一瀬建日
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 塩原 肇
所属 : 東京大学 地震研究所 海半球観測研究センター

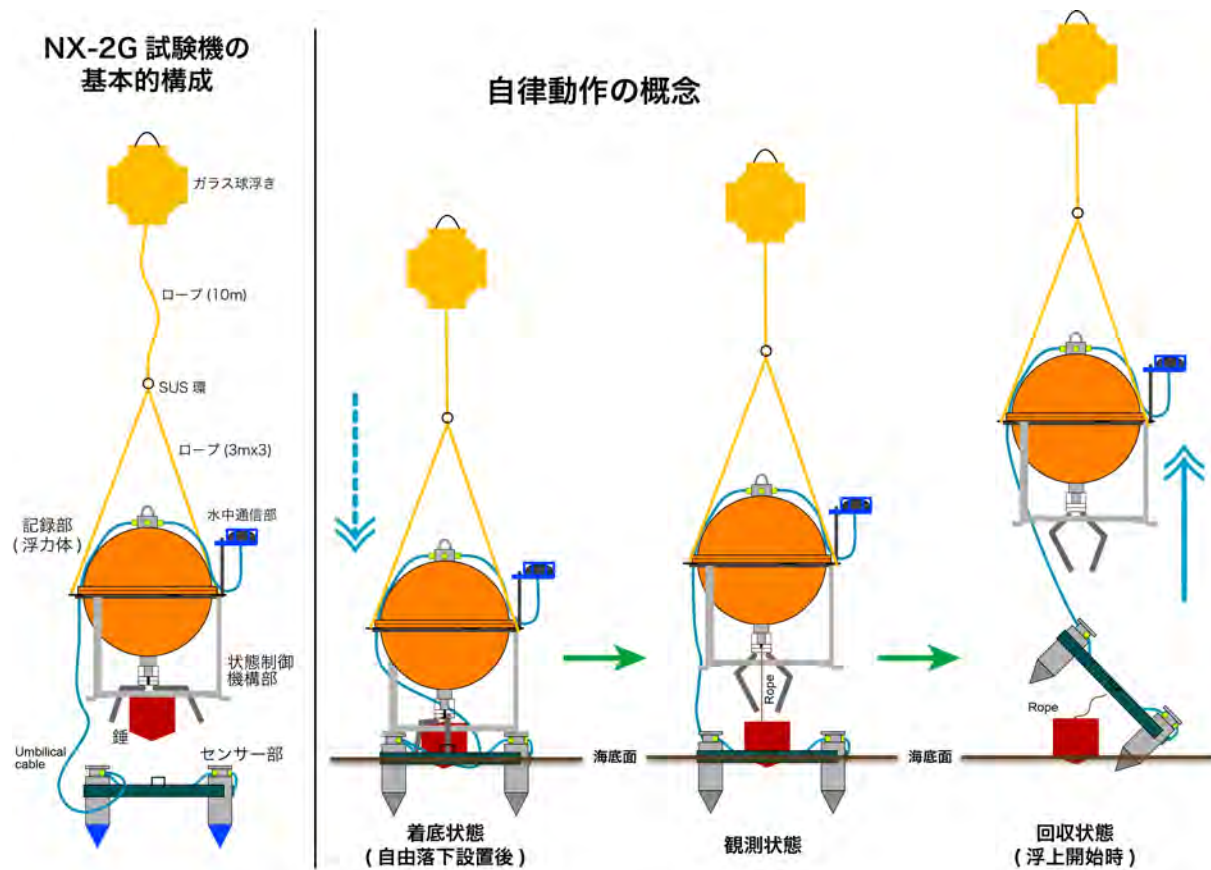


図1 自律動作方式の次期 BBOBS-NX (NX-2G) の動作概念図

現在の BBOBS(T)-NX では、自由落下による投入後に、無人潜水艇によって、センサー部上からの記録部の展開作業を行った後に観測状態へと入り、回収作業も無人潜水艇で行っている。自律動作方式にするためには、着底・観測・回収の3つの状態を制御する2段階の遷移動作を必要とする。なお、観測中にセンサー部と他の部分との機械的結合(部品・海底)が弱ければ観測記録への影響を生じないことを、2012年の試験観測で確認している。センサー部を海底から引き抜くのに必要な浮力を得るため、NX-2G 試験機ではガラス球浮きを追加しており、図4に見られる通り、他にも重要な効果がある。

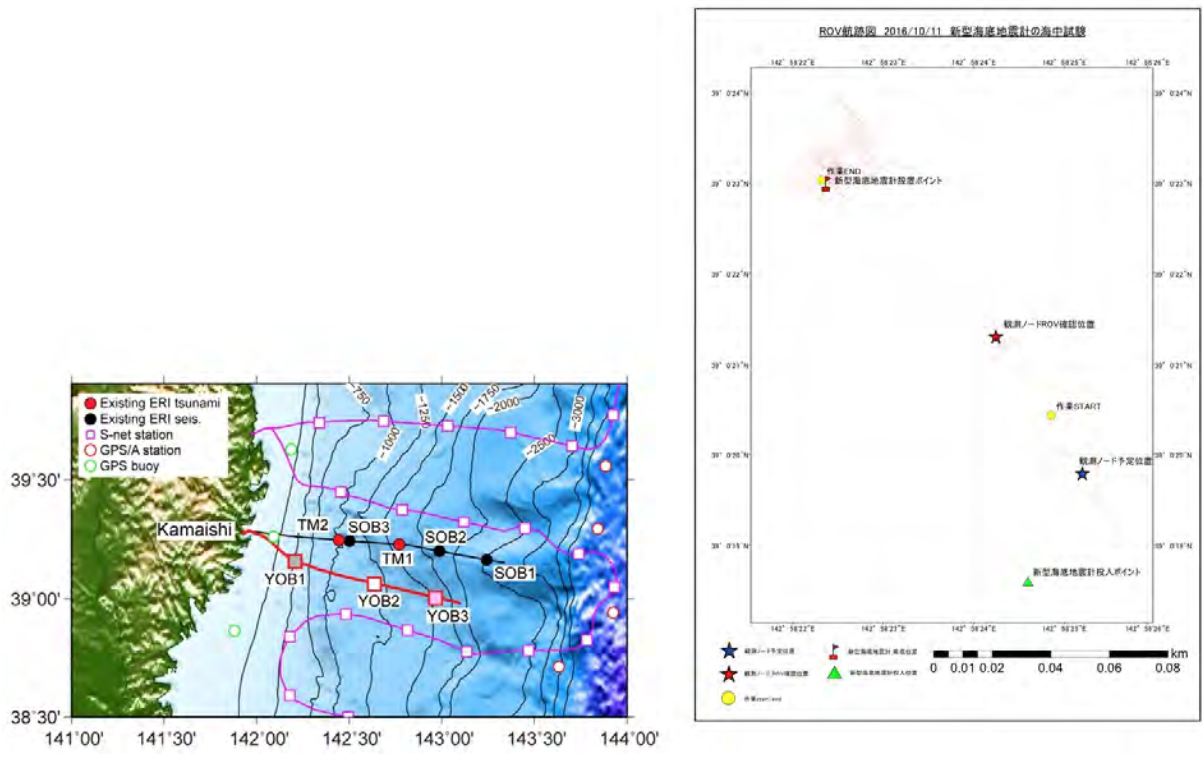


図2 NX-2G 試験機の実海域試験の実施海域図

2016年10月の備船（第一開洋丸）航海では、2015年に敷設した釜石沖海底ケーブル観測システムの最も沖にあるYOB3観測ノードの設置状況を無人潜水艇で確認すると共に、その近傍にて事前にNX-2G試験機を投入し、海底環境下での基本動作試験を実施した。

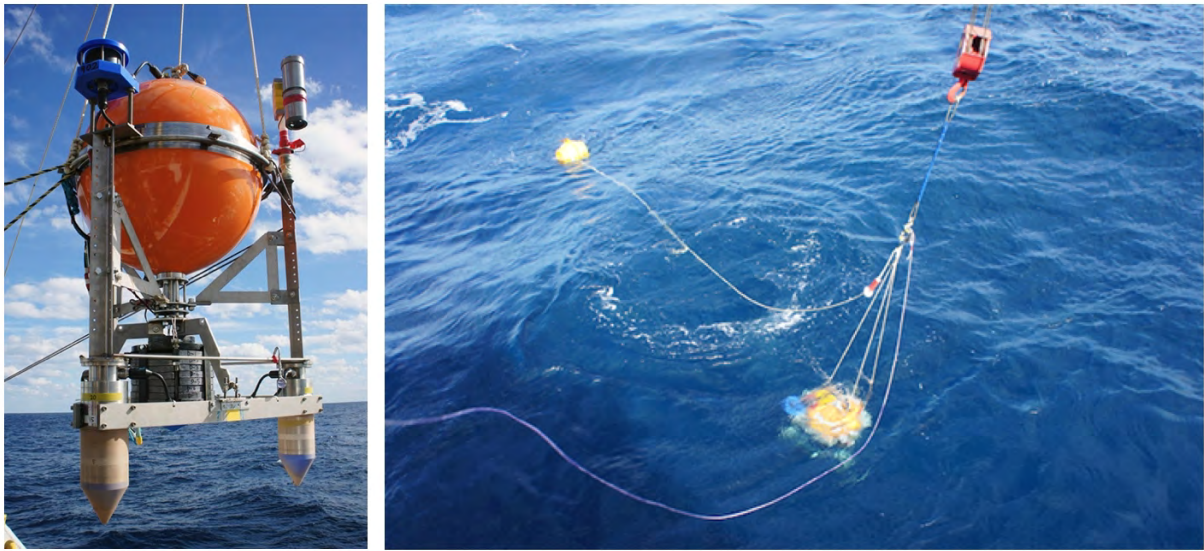


図3 NX-2G 試験機の外観と投入の様子

NX-2Gの着底時に傾斜する原因・時点を観察するため、小型・自記型のビデオカメラを取り付けている（左）。今回、加速度ロガーはチタン球内部に固定した。海面への投入時には、ガラス球浮きをまず投入した上で、NX-2G試験機の本体部を海水面へ降ろして自由落下させる（右）。降下速度は毎分80m程度である。

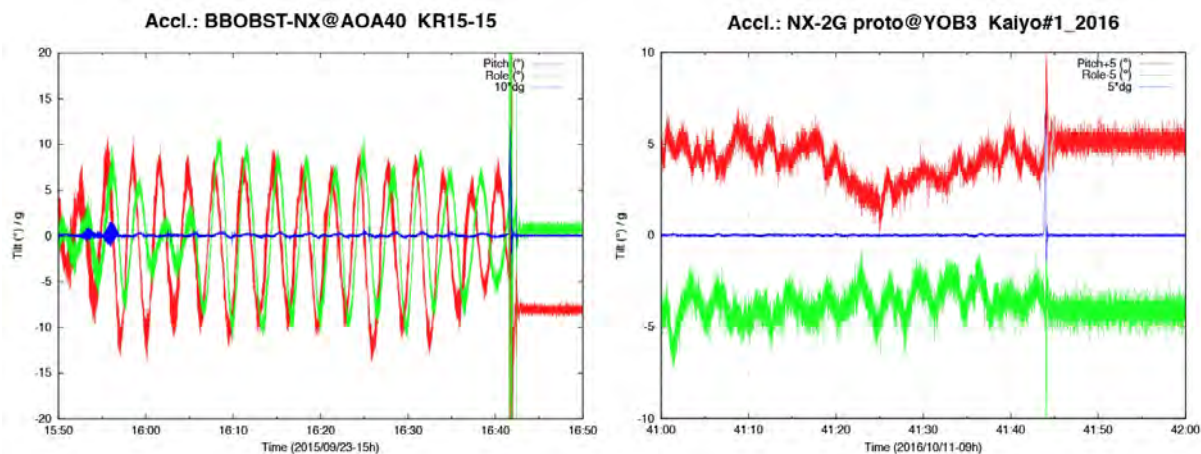


図4 海底面へ貫入する前後1分間のBBOBST-NX/NX-2G全体の傾斜変化
 加速度ロガーの記録から得た、BBOBST-NX(左)およびNX-2G試験機(右)の降下中から着底直後まで1分間の水平2軸傾斜変化(青と緑のグラフ)の記録。左右で縦軸の範囲が異なること、右では傾斜2成分にオフセットを $\pm 5^\circ$ 与えていることに注意。記録部とセンサー部だけ構成されていたBBOBST-NXで見られる $\pm 12^\circ$ を越える傾斜変動が、追加の浮力体(ガラス球浮き)を持つNX-2G試験機では傾斜変動が $\pm 2.5^\circ$ 程度へと効果的に抑制されていることが分かる。



図5 状況確認した新規開発観測システムの観測ノード(YOB3)
 観測ノードは中央の円筒容器であり、水中ロボット(ROV)が水中着脱コネクタ部分にアクセスできるように、外側にフレームが取り付けられている。水中着脱コネクタからデジタル出力水圧計に伸びているオレンジ色のケーブルが、確認できる。フレームは、海底における観測ノードの回転抑制にも有用である。

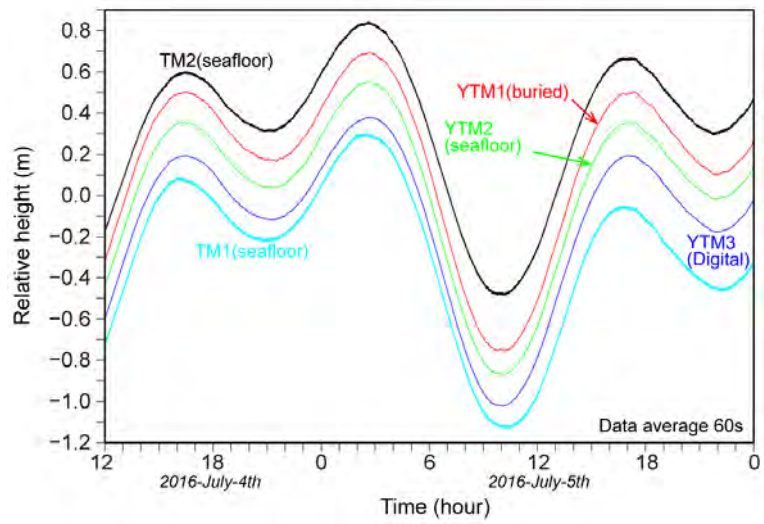


図6 既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび2015年に設置した新規開発観測システムの水圧計記録

データは1分間分のデータを平均した。新旧システムの水圧計が潮汐を記録していることがわかる。埋設した観測点の水圧計(YTM1)の感度が、海底面の水圧計に比べて、著しく変化しているとは認められない。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

光技術を利用した大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

断層すべりや応力場など地殻内で起こっている現象を観測結果に基づき定量的に理解するためには、地下深部や断層近傍における観測手法の確立が不可欠である。地下深部の高温環境においても動作し、地殻活動にともなう地動変位を正確にとらえることのできる方法として、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」では光技術を利用した広帯域地震計・傾斜計の開発を行った。この技術を高度化し、ボアホール内での試験観測を通じて、大深度における地殻活動の観測技術を確立し、地震の予測を行うための基礎観測データを提供する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」で開発された地震計・傾斜計に歪計・温度計を加え、5 年程度の期間で光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の開発を行う。

平成 26 年度においては、現状の高温対応地震計・傾斜計をボアホール型に改良する。

平成 27 年度においては、ボアホール型地震計・傾斜計の高温試験および試験観測を実施する。

平成 28 年度においては、さらに光ファイバー式温度計・歪計を組み込む。

平成 29 年度においては、上記を統合し、光ベースの大深度ボアホール用観測装置を試作する。

平成 30 年度においては、既存の大深度ボアホールを利用し、観測を実施する(1 年程度)。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」において、レーザー技術を利用した広帯域地震計および傾斜計が開発された。変位センサーとしてレーザー干渉計を用いたものを製作し、所期の高い検出性能を確認した。また、昨年度までにレーザー干渉計の高温試験を実施し、光学素子の保持部材として高温用バネ材であるインコネルが有効であり 340 においてもレーザー干渉計が機能すること

が確認されている。今年度はこれらの結果に基づき、光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の設計作業を進めた。

装置は地震計、傾斜計、温度計、歪計より構成される。地震計と傾斜計は板バネとマスを組み合わせた構造をしており、バネ材としてインコネルを用いる。いずれもマスにコーナプリズムを取り付け、その動きを高温用レーザー干渉計ユニットで高精度に計測する。温度計および歪計は光ファイバグレーティング（FBG）を用いて、温度あるいは歪による光ファイバーの微小伸縮をレーザー吸収波長の変化から計測する。すべての装置は通信波長帯 1.55 μm のレーザー光源で動作できる構成であり、長距離伝送や複数のセンサーのネットワーク化に適している。

ほぼ当初計画に沿って進められている。次年度に試作を行い、特性を測定する予定である。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
新谷昌人,2016, 光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告,22,241-243.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 29 年度においては、光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置を試作し、試験観測を実施する予定である。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

新谷昌人、高森昭光

他機関との共同研究の有無：有

海洋研究開発機構 荒木英一郎ほか 1 名、宇宙科学研究所 白石浩章ほか 1 名、東北大学 中沢正隆ほか 2 名

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：新谷昌人

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

素粒子ミュオンを用いた火山透視技術の可用化プロジェクト

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

低雑音型ミュオン検出器として、すでに実績が上がっているカロリメータ方式の装置の可用性を以下の項目を開発することで、大幅に向上させる。(1) 装置のモジュール化、マニュアル化、(2) 自動解析ハードウェアの開発、(3) 取得したデータの自動解析ソフトウェアおよびイメージャーの開発。“ユーザー”から“プロバイダ”へのフィードバックを促し、火山学者が必要とするミュオン検出器を実用化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1年目においてはミュオグラフィ自動解析アルゴリズム、自動画像生成アルゴリズムを完成させる。2年目においてはミュオグラフィ自動解析、自動画像生成ソフトウェアを完成させる。3年目においては活動的火山におけるミュオグラフィ長期観測点へのカロリメータ方式の導入・観測開始を行う。4年目においては火山学者によるミュオグラフィ測定装置の運用開始及び、開発者へのフィードバック。ソフトウェアの改良を行う。5年目においては4年目までの運用実績をもとに、最適化を行い火山学者

による観測を実現し、ミュオグラフィ装置の実用化を実現するとともに、ミュオグラフィデータベースを構築する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

平成 28 年度は桜島におけるミュオグラフィ長期観測点へのカロリメータ方式の導入・観測開始を行った(図 1)。ミュオグラフィ観測装置の設置場所は、標高 150 m、昭和火口から南に水平距離でおよそ 2.8 km の地点で、ミュオグラフィ観測装置の有感面を昭和火口方向へ向けた。観測により、桜島昭和火口近傍のミュオグラムを得た(図 2)。ミュオグラムとは幾何学的な外形とボリウム内部の密度構造の情報が縮退している投影図で、医学分野で用いる X 線レントゲン写真に相当する。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Hiroyuki K. M. Tanaka, Visualization of the Internal Structure of Volcanoes with Cosmic-ray Muons, J. Phys. Soc. Jpn. 85, 091016 (2016).

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度はミュオグラフィ測定装置の運用を続け、透視結果やインタラクティブなウェブベース解析ソフトウェアのリアルタイム試験公開を行い、ユーザーからの開発者へのフィードバックを促す。ソフトウェアの改良を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学(地震研究所)
他機関との共同研究の有無 : 有
高エネルギー加速器研究機構(素粒子原子核研究所)
北海道大学(院理・地震火山研究観測センター)
名古屋大学(院理・物理学専攻)
産業技術総合研究所(活断層・火山研究部門)
京都大学(防災研究所)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 田中宏幸
所属 : 東京大学地震研究所



図1 桜島に導入したカロリメータ方式

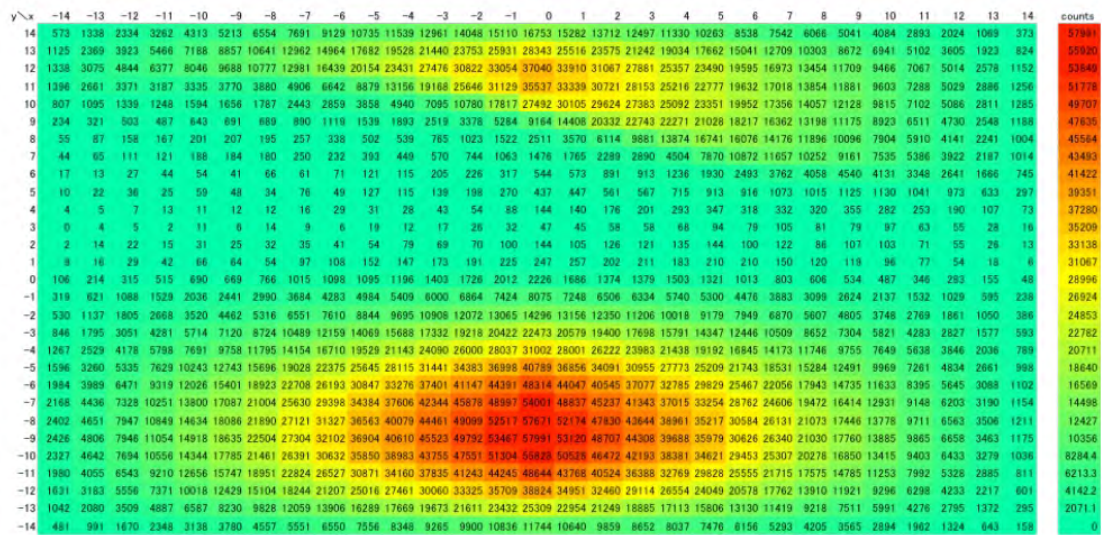


図2. 桜島におけるカロリメータ方式の導入・観測で得られたミュオグラム

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

日・米・NZ 国際協力によるスロースリップでのプレート境界面断層滑りメカニズムの解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震活動やスロースリップなど、プレート境界における多様な滑り運動を詳細に把握し、プレート境界の形状や物性などの構造的要因との関係を明らかにすることは、地震発生メカニズムや断層破壊過程の理解に重要な貢献をなす。ニュージーランド北島では陸上地震観測網に加えて、近年 GPS 観測網が整備され、東海岸沖合いのヒクラング沈み込み帯における通常地震活動に加え、プレート間固着強度分布や、スロースリップの発生が明らかとなってきた。特に本研究の対象地域であるヒクラン

ギ沈み込み帯北部では、~2年周期でスロースリップが発生しており、過去にはM7級津波地震による被害も受けている。太平洋プレートの沈み込みが浅いため、地震波構造調査によって海山の沈み込みなど詳細なプレート境界周辺の形状や反射強度が得られており、断層すべり運動とプレート境界の構造的要因との関係について議論を行う上で、世界的に最適な場所である。

海底下深度掘削によって実際にプレート境界面周辺物質までを取得し、沈み込みに伴う脱水反応過程や水の流路、およびその低周波イベントとの関係を明らかにすることを目的とした国際共同研究を計画している。国際共同研究の枠組みの中で、日本の得意とする地震・海底地殻変動観測を、日・ニュージーランド・米の共同で多点展開することによって行い、ヒクラング沈み込み帯で発生するスロースリップ、およびそれに伴う多様な地震活動の推移を詳細に把握する。ここで得られた結果と地震波構造断面と比較することによって、多様な断層滑り現象とプレート境界面周辺の構造的要因との関係を解明する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

ヒクラング沈み込み帯では、~2年周期でスロースリップが発生しているが、このうち~6年に一度程度の周期で大規模なイベントが起こっている。海底地震計や海底圧力計を用いて、海域においてこのスロースリップおよびそれに付随する地震活動をとらえ、プレート境界の性質と運動の関係について解明を目指す。そのために我々は、日・米合わせて10台の海底地震・圧力計、5台の海底地震計および17台の海底圧力計を用いて、大規模なスロースリップの滑り過程の全体像をとらえることを目的とした観測を、2014年5月から1年間に渡り行うことを計画している。この観測で得られたデータについて、日・NZ・米の共同で多面的な解析をし、議論・検証を行う。この3カ国共同観測後にも、複数回のスロースリップを観測することを目的として、本研究計画による海域観測を続け、プレート境界運動の詳細を把握する。

(平成26年度)

- ・日・ニュージーランド・米共同による海底地震観測および海底圧力計を用いた海底上下変動観測を開始する。
- ・東京大学地震研究所では、2012年4月から2013年3月までの期間、同海域で4台の海底地震計を用いたパイロット観測を行った。観測期間中に観測網の南方で発生した比較的大きなスロースリップについて、その滑り過程を国際共同研究者が解析中である。スロースリップと地震活動との関係を把握するために、海底地震観測記録の解析を進める。
- ・2013年3月に設置した東北大学の海底圧力計4台の回収を行う。観測期間中の2013年7月に、少~中規模のスロースリップが発生した。このイベントにおけるプレート境界滑り分布について、解析を始める。

(平成27年度)

- ・日・ニュージーランド・米による海底多点観測網の回収を行い、解析を開始する。
- ・東北大学の海底圧力計については、回収後再設置を行い、引き続き観測を行う。
- ・これまでに得られた海底地震計、および海底圧力計の記録の解析を進める。

(平成28~29年度)

- ・東北大学の海底圧力計の回収・再設置を行い、引き続き観測を行う。
- ・海底地震計のデータと陸上観測網のデータを合わせて解析し、地震活動やスロースリップに付随する低周波イベントの同定、および震源の決定を行う。
- ・震源決定の精度を上げるため、海域下の地震波速度構造モデルの改善を行う。
- ・震源メカニズムの決定を行う。

(平成30年度)

- ・東北大学の海底圧力計の回収を行う。
- ・精度よく決定された地震や低周波イベントの震源および震源メカニズムと地震波反射断面との比較を行い、構造的要因との関係について検討を行う。

・日・ニュージーランド・米共同研究者によるワークショップを行い、結果のとりまとめに向けた検討を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

2014 年 5 月 10 日から 2015 年 6 月にかけて、ニュージーランド (NZ) 北島ギズボーン沖合にて日・NZ・米 3 か国共同で行った大規模海域地球物理観測 HOBITSS (Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip) では、海底地震計 5 台、海底地震・圧力計 10 台、海底圧力計 17 台を設置し、これらについては全台の回収に成功した (図 1)。2000 年ころより NZ 北島における GPS 観測網が整備され、それによってギズボーン沖合では約 2 年の決まった周期でスロースリップが発生していることが分かっている。

本観測期間中の 2014 年 9 月から 10 月にかけて観測網直下において、これまでに観測されている中で 2 番目に大きい規模のスロースリップが発生し、このスロースリップの観測に成功した。データに不備のあった海底圧力計、および水深が 100 m に満たない浅海に設置した海底圧力計を除いた 13 台の海底圧力計のデータを調べたところ、このスロースリップに伴う 1.5 ~ 5.4 cm の海底上昇を記録していることがわかった (図 2)。この海底上昇は陸上の GPS 観測網によってスロースリップが捕らえられる数日前から開始しているように認められ、したがってスロースリップのすべりはプレート境界の浅部から深部へと進行したことが示唆される。もっとも大きなすべりは、海岸線よりも 30 km 離れた海底下で発生し、その海底は 5.4 cm の上昇を記録した。すべり量は海溝軸に向かって小さくなり、海溝軸から 5 ~ 10 km の海底では 1.5 ~ 2 cm の海底上昇が認められた。海溝軸近傍の海底圧力計で記録された海底上昇は、スロースリップによる断層すべりはほぼ海溝軸まで達したことを示唆している。断層すべりの量としては、もっとも大きくすべった 4 ~ 7 km の深さのプレート境界のところで 10 cm 程度と考えられる。ここで得られたスロースリップに伴う断層すべりについて、反射法地震波構造調査によって得られているプレート境界の形状と比較すると、沈み込んだ海山を避けるように分布していることがわかった (図 3)。この海底圧力計の記録については、潮汐による影響と大気により駆動される海洋モデルによる圧力擾乱を取り除くことによって、さらにその詳細を調べており、小規模なスロースリップの発生の検出に成功している (図 4)。

海底地震計の記録では、観測期間を通して発生した地震について、陸上の地震観測網では捉えられない微小地震を含めて検出を行い、その震源および震源メカニズムの決定に取り組んでいるところである。HOBITSS 観測に先駆けて東京大学地震研究所と GNS Science (NZ) が共同で 2012 年から 2013 年に行った域地震観測の結果では、本海域下での地震活動はまさしくプレート境界面の凹凸形状に従った分布を示していることが明らかとなっている。今回の観測期間中に発生したスロースリップに伴う地震活動との比較について、検討を進めているところである。

ヒクランギ沈み込み帯では、これまでに繰り返しスロースリップの発生は認められてきたが、微動の活動については必ずしも明らかとなっていなかった。HOBITSS 観測で得られた海底地震計の記録を用いて、目視による微動の検出、さらにはエンベロープ相関法による微動の震源決定を進めている。その結果、これまでにスロースリップに伴った微動と考えられる活動が認められ、その震源はスロースリップの断層すべりが及ばない沈み込んだ海山の基底部周辺に集中しているように見える。この微動活動については、海底地震計の連続波形記録に対して S 波スプリッティング解析を適用し、その時間変化についてさらに詳細を調べているところである。

2015 年 6 月には HOBITSS 観測における海底観測機器の回収とともに、新たに 5 台の海底圧力計を設置し、1 点で GPS/A 海底地殻変動観測装置の設置を行って観測を開始した。2016 年 6 月には GPS/A の観測を行うと共に、海底圧力計の設置・回収作業を行って、観測を継続している。

2016 年 9 月から 1 月にかけて、NZ の研究機関である GNS Science 及びビクトリア大学ウェリントン校から東京大学地震研究所に研究者が滞在し、HOBITSS 観測で得られた地震波形データの解析を進めた。特に、レシーバー関数解析や S 波スプリッティング解析で必要となる地震計方位の決定について、複数の手法を用いて詳しく調べた。2016 年 11 月には、NZ 南島北東部で M7.8 の規模の Kaikoura

地震が発生し、それによって北島沖合のヒクラング沈み込み帯全域に渡ってスロースリップが発生した。これを受け、今後の研究方針などについても議論を行った。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Harris, R., L. Wallace, S. Webb, Y. Ito, K. Mochizuki, H. Ichihara, S. Henry , A. Tr hu , S. Schwartz, A. Sheehan, R. Lauer, and D. Saffer, 2016, Investigations of shallow slow slip offshore of New Zealand, *Eos*, 97, doi:10.1029/2016EO048945. 701-704.

Wallace, L., S.C. Webb, Y. Ito, K. Mochizuki, R. Hino, S. Henrys, S.R. Schwartz, and A.F. Sheehan, 2016, Slow slip near the trench at the Hikurangi subduction zone, New Zealand, *Science*, 352,

村本智也・伊藤喜宏・稲津大祐・日野亮太・鈴木秀一, Stuart Henrys, Stephen Bannister, Laura Wallace, 2016, 海底観測によるヒクラング沈み込み帯で発生するスロースリップイベントの検出, S03-P04, 日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会, 名古屋, 10 月 5 日?7 日

Muramoto, T., Y. Ito, D. Inazu, S. Henrys, L. Wallace, S. Bannister, K. Mochizuki, R. Hino, and S. Suzuki, 2016, Detection of Shallow Slow Slip events on the Northern Hikurangi Margin using Ocean Bottom Pressure Recorders, Poster-1, 2016 Taiwan-Japan Workshop on Crustal Dynamics, Tainan, Taiwan, 14-16 Nov.

Williams, C. A., L. W. Wallace, S. C. Webb., Y. Ito, K. Mochizuki, R. Hino, and S. A. Henrys, 2016, Detailed inversion of a shallow slip event at the Hikurangi subduction zone, New Zealand, using numerical Green's functions and absolute pressure gauge data, S423D-02, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.

Muramoto, T., Y. Ito, D. Inazu, S. Henrys, L. Wallace, S. Bannister, K. Mochizuki, R. Hino, and S. Suzuki, 2016, Detection of Shallow Slow Slip events on the Northern Hikurangi Margin using Ocean Bottom Pressure Recorders, S43-D01, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.

Yarce, J., A.F. Sheehan, J.S. Nakai, E.K. Todd, S.Y. Schwartz, and K. Mochizuki, 2016, Offshore seismicity at Hikurangi Margin from Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip (HOBITSS), New Zealand, S33A-2820, 2016 Fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.

Todd, E.K., S.Y. Schwartz, A.F. Sheehan, and K. Mochizuki, Seismicity and tectonic tremor accompany the 2014 Gisborne Slow Slip Event: Insights from the Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip (HOBITSS) Experiment, New Zealand, 2016, S43D-03, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.

Fry, B., S. Lebedev, K. Mochizuki, S. Henrys, A.F. Sheehan, S.Y. Schwartz, S.C. Webb, and L.M. Wallace, 2016, A Baseline for Temporal Monitoring of Azimuthal Anisotropy of the Hikurangi Megathrust in a Region of Shallow Slow Slip, S53C-02, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.

Chon, E., A.F. Sheehan, J. Yarce, J. S. Nakai, S.Y. Schwartz, and K. Mochizuki, Focal Mechanism Solutions from the HOBITSS Ocean Bottom Seismometer Experiment, Hikurangi Subduction Zone, New Zealand, 2016, T31D-2027, AGU, San Francisco, Calif., 12-16 Dec.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

2017 年 6 月から 7 月にかけて、ニュージーランドの船舶を用いて GPSA の観測を行うとともに、海底圧力計の回収・設置を行い、引き続き海底地殻変動観測を継続する。

2017 年 6 月に、アメリカから HOBITSS 観測の関係者を東京大学地震研究所に招聘し、本観測で得られた海底地震計のデータを用いた微小地震活動の検出、およびその震源・震源メカニズムの決定について、解析を進める。一方、S 波スプリテイング解析による微動活動の検出についても、引き続き解析を進める。

2017 年 11 月から 2 月にかけて、ヒクラング沈み込み帯全域において国際共同大規模地震波構造調査を行う。本調査では、反射法地震波構造調査に加え、海底地震計、および陸上にも地震観測網を展

開して屈折法構造調査を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

望月公廣・篠原雅尚・山田知朗・塩原肇・小原一成

他機関との共同研究の有無 : 有

伊藤喜宏 (京都大学防災研究所) 日野亮太・木戸元之 (東北大学災害科学国際研究所)

Stuart Henrys・Stephen Bannister・Bill Fry・Charles Williams (GNS Science, NZ) Phil Barnes (NIWA, NZ)

Laura Wallace (UTIG, USA)

Susan Schwartz (UCSC, USA)

Spahr Webb (LDEO, USA)

Anne Sheehan (University of Colorado at Boulder, USA)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 望月 公廣

所属 : 東京大学地震研究所 地震予知研究センター

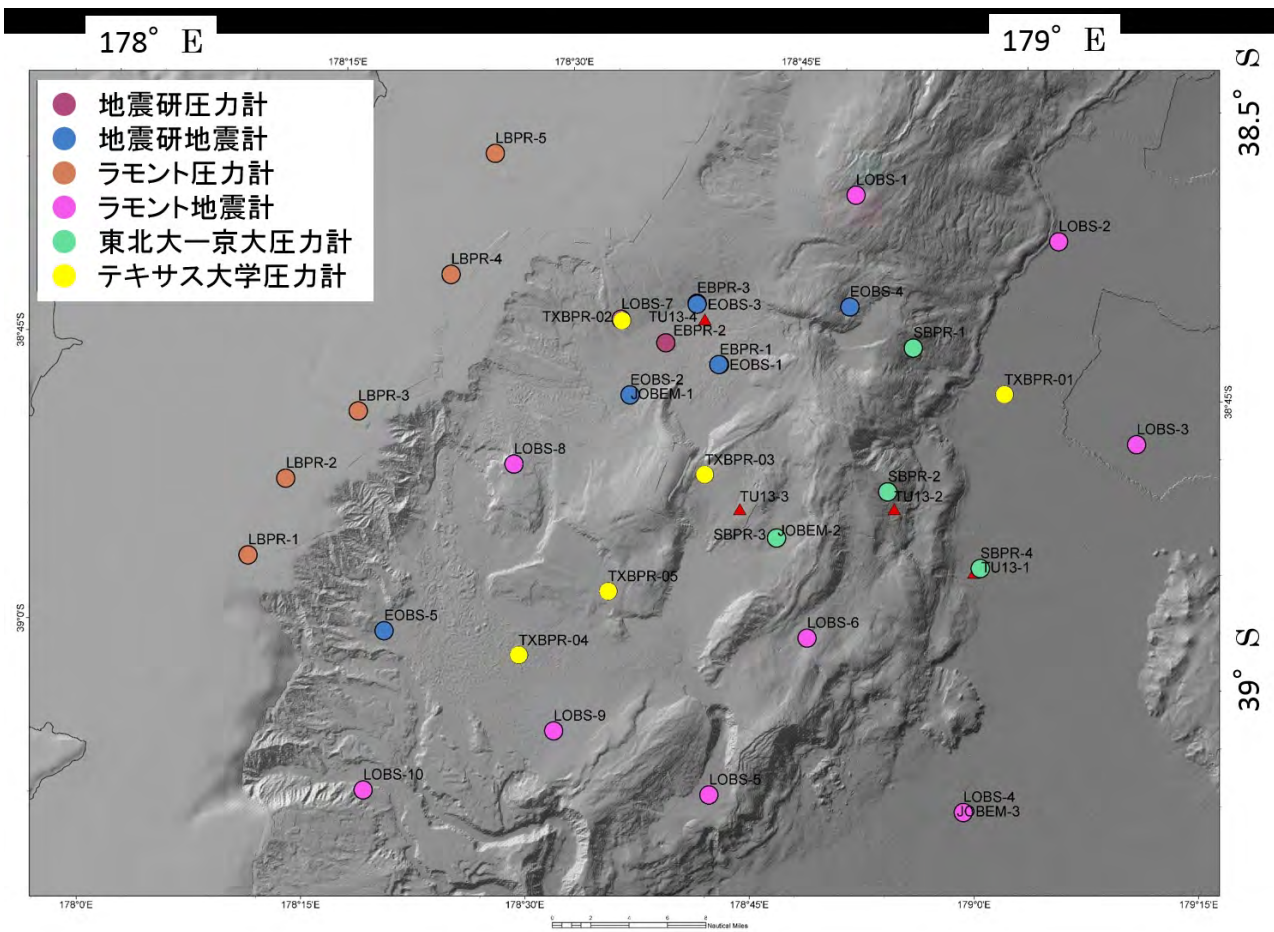


図 1

HOBITSS 観測における海底観測機器配置

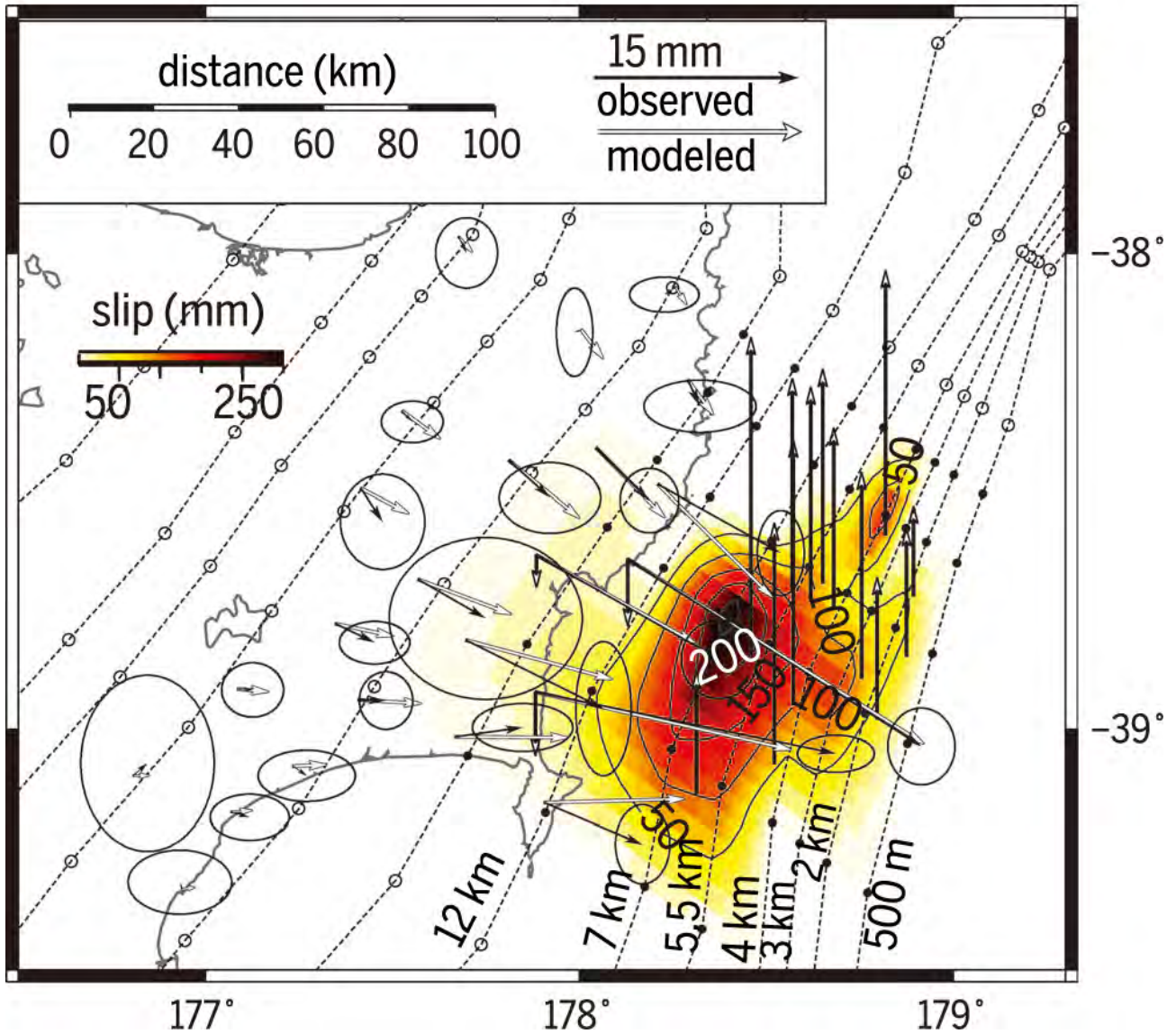


図 2

海底圧力計による海底上下変動成分と陸域 GPS 観測による水平動成分を用いたインバージョン解析で得られた、2014 年 9 - 10 月に発生したスロースリップにおけるプレート境界断層すべり量分布

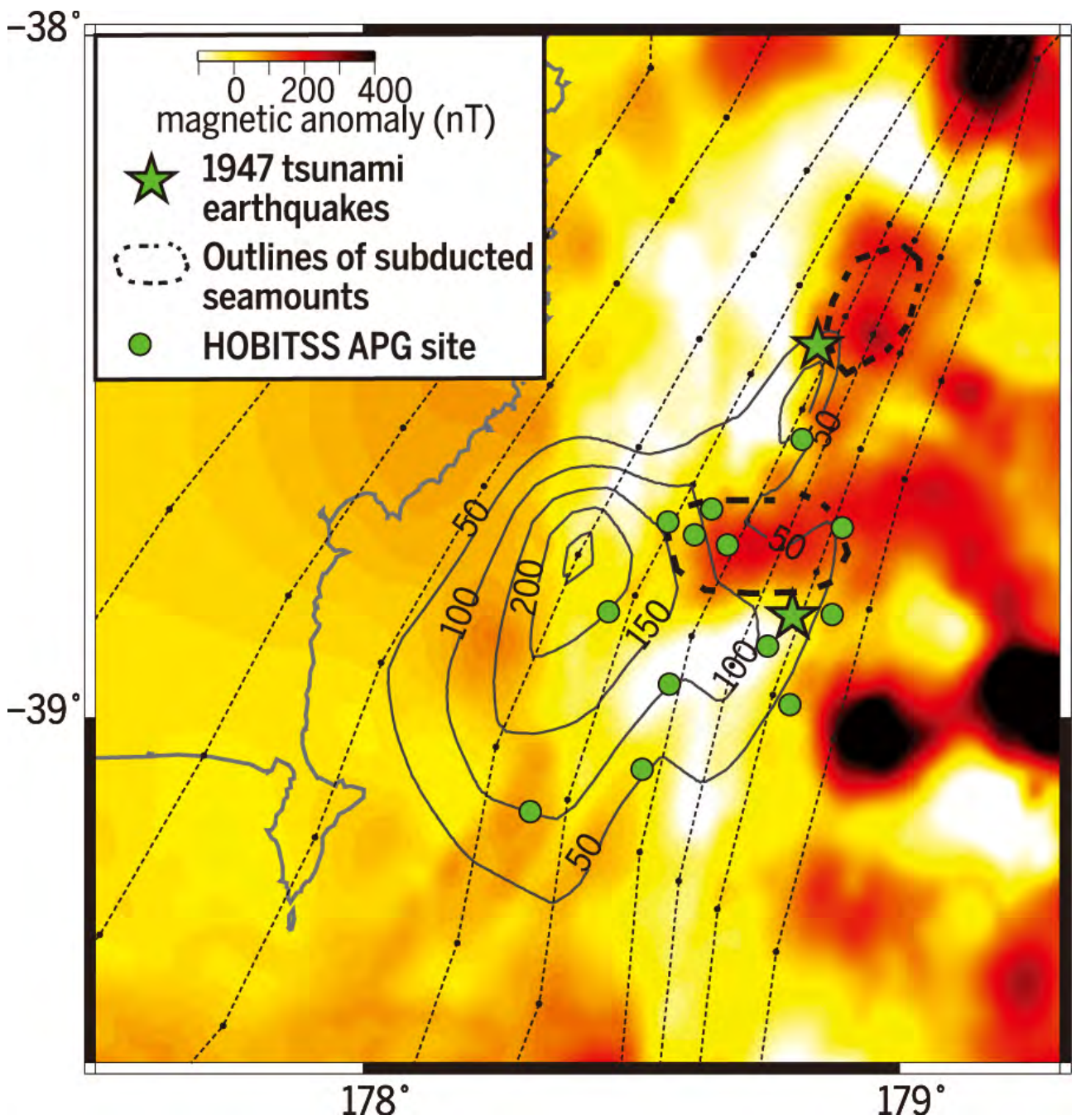


図 3

2014年9 - 10月のスロースリップにおけるプレート境界断層すべり量分布と、地磁気異常から示唆されるプレート境界面の形状との関係。点線で囲まれた領域下のプレート境界には、沈み込んだ海山がある。星印は1947年に2度発生した津波地震の震央。

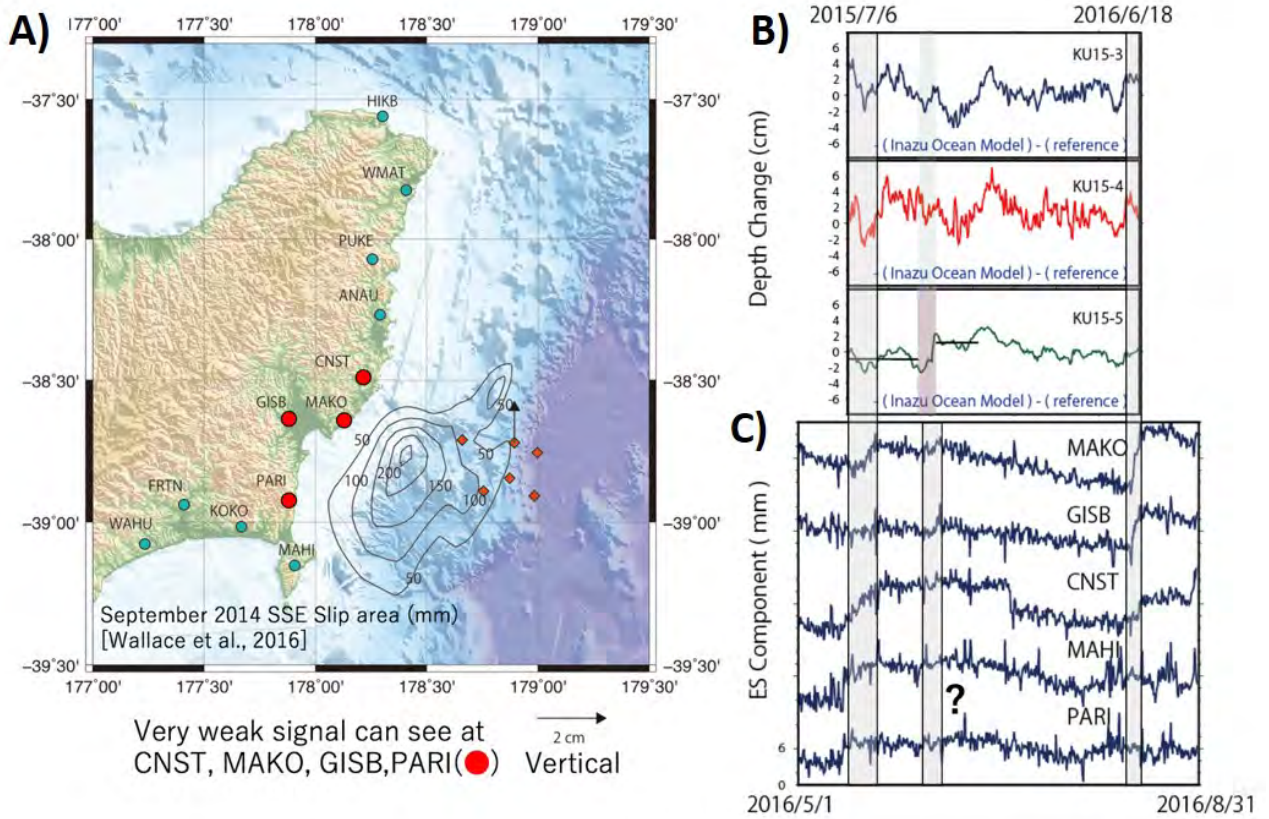


図 4

(A) ニューージーランド北島東海岸沿いに設置されている cGPS 観測点 (赤丸、緑丸) と海底圧力計 (台形・赤) の位置。(B) 圧力差記録。潮汐による影響と大気により駆動される海洋モデルによる圧力擾乱を取り除いたのち一次トレンドを補正し、リファレンスとなる沈み込むプレート上の観測点との差をとった。(C) GEONET 観測点の GNSS 記録から見積もった水平度変動成分 (南東成分)

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

水蒸気爆発場の物理・化学状態の把握と火山流体の挙動

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

水蒸気爆発は、地下浅所に形成された火山ガス溜まりがガス圧に抗しきれなくなった時に発生するものであり、マグマの直接的な関与は必ずしも必要ではない。水蒸気爆発の準備領域では、熱水変質した難透水性の蓋と、その直下に蒸気の卓越した気液二相が共存する熱水流体溜りが存在することが明らかになりつつある。この熱水流体溜りの気相は噴気ガスとして、液相は温泉水や火口湖水として火山体から常時放出されている。熱水流体溜りを構成する変質岩石は、火山体を構成する岩石が噴気ガスや酸性熱水との反応によって生成し、その変質プロセスは物理的・化学的条件に大きく依存する。また、その形状は電磁気観測によってモニターできることから、水蒸気爆発の予測の高度化のためには、爆発場を形成する活動火口下浅部の物理・化学状態の変動を火山性流体の挙動とリンクさせて捉えることが不可欠である。本研究では、火山ガスや湖水・温泉水の地球化学的観測と地震・地殻変動観測による力学的状態や地磁気観測に火口湖の水温や水位の精密観測を加えて、熱的状态を総合的に解釈し、草津白根山での活動火口下浅部の物理・化学状態の変動を捉えることを目指す。本課題は、課題番号 1003「多項目観測に基づく火山熱水系の構造の時空間変化の把握と異常現象の検知(代表機関：北海道大学)」と関連しており、1003 で対象となる火山(十勝岳, 吾妻山, 阿蘇および口永良部島)についても、本課題 1602 と同様に地球化学的観測、地磁気観測及び熱観測等を実施する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では、研究期間の 5 年間にわたり、草津白根山湯釜火口周辺に整備された活動火口観測システムによる微小地震、GPS 及び傾斜変動の連続観測および火山ガス、湖水・温泉水などの化学組成などの繰り返し観測を実施する

平成 26 年度においては、草津・湯釜火口湖の水温データを取得し、既存のボーリングコアの変質部分の二次生成鉱物組成について記載する。

平成 27 年度においては、草津・湯釜火口湖の水位データの分解能を向上させ、変質部分の化学組成分析を実施する。

平成 28 年度においては、三次元地下比抵抗構造解析を行い、活動火口周辺の詳細な三次元地下構造モデルを構築する。

平成 29 年度においては、空中赤外観測を実施して地表面放熱量を測定し、平成 24 年度からの増減を明らかにする。得られた地球化学・地球電磁気データから熱水系全体の物質・熱収支の推定を行う。

平成 30 年度には火山性流体の挙動と火山体浅部で発生する諸現象との関係性を解明する。十勝岳などでも空中赤外観測や噴煙画像解析・等を行い、各火山からの地表面放熱量を計測する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

草津白根山湯釜火口周辺に整備された活動火口観測システムによる微小地震、GPS 傾斜変動、全磁力の連続観測並びに、火山ガス、湖水・温泉水の化学組成の繰り返し観測を実施した。また、火口周辺の 3 次元比抵抗構造解析結果を検討し、火山活動との関連を検討した。

草津白根火山では、2014 年 3 月から火山活動が急激に活発化した。それは湯釜水釜火口直下における微小地震の発生回数の増加、山体の膨張、山体の消磁、湯釜湖水の水温の上昇として観測され、また、北側噴気孔の二酸化炭素濃度の増加（硫化水素濃度の低下）として見出された。そのため、水蒸気噴火の危険が指摘され、噴火警戒レベルが 2 に引き上げられた。山頂域の AMT/MT 観測データ 85 点の 3 次元構造解析結果によると、湯釜水釜火口を取り巻く釣鐘型の低比抵抗体があって、それが不透水性・低比抵抗を示す粘土からなり、熱水系のキャップとなっている。2014 年 3 月から活発化した地震や山体膨張源は、この粘土キャップの直下に火山ガス・熱水が急激に供給されたことによると解釈される。山体の消磁および湯釜湖水の温度の上昇は、火山活動の開始から 2 ヶ月遅れて 2014 年 5 月から検知されている。北側噴気孔の火山ガスについては、粘土キャップの北縁から逸していると解釈され、2014 年 3 月から急激に硫化水素濃度が減少している（二酸化炭素濃度が増加した）。このようにして、水蒸気爆発場においては、粘土キャップ構造が重要であること、3 次元 MT 法探査が有用であることが認識された。

傾斜変動観測による山体膨張については、2015 年 11 月以降停滞する傾向となり、2016 年 6 月からは山体が収縮する傾向を示す。これに対応して、微小地震の数も減少し、2017 年 2 月現在では 2014 年 3 月以前のレベルに落ちている。山体の膨張は GPS でも計測されており、干俣観測点を基準にすると山頂域は 2014 年の 1 年間は山頂域全体が隆起したが（最大値は湯釜で 44mm）、2016 年 1 年間で湯釜で 15mm 沈降した。湯釜北東部にシル状の水平なクラックを想定すると、これら山体の上下及び水平変動を説明できる。湯釜の水温については 2014 年 5 月以降、平年に比べて数度高い状態が維持されたが、2016 年 8 月以降は平年の水温まで低下した。全磁力観測に関しては、2014 年 5 月以前は山体が帯磁する傾向であったのが、2014 年 5 月の消磁イベント以降、全磁力は停滞していたが、2016 年 5 月から帯磁する傾向になり、山体が徐々に冷却していることがわかる。

一方、地球化学については、過去のサンプルを用いて、湯釜火口の湖水のフッ化物イオン濃度、塩化物イオン濃度、硫酸イオン濃度の 1990-2000 年 および 2012-2017 年の時間変動に関して検討をした。2014 年 3 月の火山の活発化以降、フッ化物イオン、塩化物イオンの濃度が増加すること、ポリチオン酸イオン濃度が増大することが見出された。マグマ性の火山ガスが、湯釜火口湖に注入していると解釈される。

このほか、DD 法による精密な震源決定により草津白根山山頂域の震源位置が 2 つのクラスターに分かれること、草津白根と本白根山を含めた広域的な 3 次元比抵抗構造解析から本白根火山周辺の深度 2 - 5 ? の流体だまりの存在が明らかにされた。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等） :

- Seki K., W. Kanda, T. Tanbo, T. Ohba, Y. Ogawa, S. Takakura, N. Kenj, M. Ushioda, A. Suzuki, Z. Saito, Y. Matsunaga, 2016, Resistivity structure and geochemistry of the Jigokudani Valley hydrothermal system, Mt. Tateyama, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 325, 15-26.
- Mori, T., T. Hashimoto, A. Terada, M. Yoshimoto, R. Kazahaya, H. Shinohara, R. Tanaka, 2016, Volcanic plume measurements using a UAV for the 2014 Mt. Ontake eruption, *Earth Planets Space*, 68:49.
- Usui, Y., Y. Ogawa, K. Aizawa, W. Kanda, T. Hashimoto, T. Koyama, Y. Yamaya and T. Kagiya, 2016, Three-dimensional resistivity structure of Asama Volcano revealed by data-space magnetotelluric inversion using unstructured tetrahedral elements, *Geophys. J. Int.*, 208 (3): 1359-1372.
- Noguchi, R., A. Hoskuldsson, K. Kurita, 2016, Detailed topographical, distributional, and material analyses of rootless cones in Myvatn, Iceland, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 318, 89-102.
- Ogawa, Y., Nurhasan, S. B. Tank, A. Terada, W. Kanda, K. Nogami, 2016, Three dimensional magnetotelluric modeling of Kusatsu-Shirane volcano and its implications for recent volcanic unrest, AGU Fall meeting, San Francisco, USA.
- Seki, K., W. Kanda, , T. Tanbo, , T. Ohba, , S. Aoyama, Y. Ueno, Y. Ogawa, S. Takakura, M. Ushioda, A. Suzuki, A. Saito, Y. Matsunaga, 2016, Hydrothermal system beneath the Jigokudani Valley, Tateyama Volcano, Japan, inferred from AMT surveys and hot spring water analysis, AGU Fall meeting, San Francisco, USA.
- Seki, K., W. Kanda, , T. Ohba, T. Tanbo, , K. Nogami., S. Aoyama, 2016, Hydrothermal system beneath the Jigokudani valley, Japan, Goldschmidt, Yokohama, Japan.
- Terada, A. and T. Hashimoto, 2016, Evaluation of temporal changes in volcanic fluid emitted from the bottom of active hot crater lakes, the 26th Goldschmidt Conference, Yokohama, Japan.
- Hill, G., P. Wannamaker, V. Maris, M. Kordy, E. Wallin, M. Unsworth, J. Stodt, Y. Ogawa, D. Uhlmann, 2016, Magnetotelluric imaging of an active phonolitic volcanic system: Mount Erebus (Ross Dependency - Antarctica), The 23rd Electromagnetic Induction in the Earth Workshop, Chiang Mai, Thailand.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度においては、空中赤外観測を実施して地表面放熱量を測定し、平成 24 年度からの増減を明らかにする。得られた地球化学・地球電磁気データから熱水系全体の物質・熱収支の推定を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京工業大学 野上健治

東京工業大学 小川康雄

東京工業大学 神田 径

東京工業大学 寺田暁彦

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京工業大学火山流体研究センター

電話 : 03-5734-2639

e-mail : oga@ksvo.titech.ac.jp

URL : <http://www.ksvo.titech.ac.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 小川康雄

所属 : 東京工業大学火山流体研究センター

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海底火山活動の評価手法開発に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

海底火山は、その周囲が大量の海水に囲まれていることから、大規模な熱水活動を伴うことが特徴であり、陸上の火山活動とは全く異なった様相を呈する。これらの火山で噴火が起これば、海上・航空交通に多大な影響を与えるだけでなく、場合によっては領土・領海、ひいては EEZ にまで影響が及ぶため、その監視観測や火山活動の評価は我が国の国益に関わる、きわめて重要なミッションであるが、それに資するべき試料の採取装置や分析方法には課題が多く残されている。

本研究課題は、海底火山活動の即時評価に資することを目的とし、危険を伴う海底火山の観測装置の開発に関する研究を行う。同時に、熱水と海水との反応による組成変化の実験を行い、薩摩硫黄島など、天然の熱水系で作成した観測装置を使用して観測を行う。更に、2011 年から大規模な海底火山活動が始まっているカナリア諸島エルイエロ島で繰り返し観測を行う。これ以外に予知計画期間中に海底火山噴火が発生した場合には、その観測も実施し、研究成果の一部とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、海底火山活動のときに熱水と海水との反応によって発生する変色海水の再現実験を行う。

平成 27 年度においては、海域火山での反応生成物の調査観測及び分析を行う。

平成 28 年度においては、海域火山での調査観測・分析を繰り返し、必要に応じて実験を行う。

平成 29 年度においては、海域火山での調査観測・分析を繰り返し、必要に応じて実験を行う。

平成 30 年度においては、成果のとりまとめを行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

2013 年 11 月から非常に活発なマグマ噴火を続けていた西之島も 2015 年 11 月 17 日の噴火を最後に、弱い噴気活動だけを残して活動を停止している。変色域は島の北東部付近を中心に分布しているが、その範囲は徐々に縮小している。火山活動が終息する過程での火山体から放出される熱水の影響範囲を調べるために西之島の周辺海域で海水試料を採取し、各種陰イオン成分を調べた。その結果を図 1 に示す。採取地点の位置は、第 7 火口と各採取地点を結ぶ線の真北からのずれを時計周りに 0 ~ 360 °で示した。

2015年に採取したすべての海水試料でpHは通常の海水よりも酸性側にシフトしていた。弱アルカリ性の濃厚溶液である海水はそれ自体にpHの緩衝能があるにもかかわらずそのpHを酸性側に下げている。西之島の周辺の海水は火山体から放出される酸性熱水の影響を広範囲にうけている。塩化物イオン濃度が通常の海水よりも低いのにに対して、フッ化物イオンや硫酸イオンの濃度は僅かに高い。これらの成分の変動パターンから、特に北西側のより海岸近くで採取された試料ほどその影響を非常に強く受けていることが判った。これに対して、2016年には岸から0.9nm離れた地点で採取されたすべての海水試料でpHは通常の海水とほぼ等しく、熱水の影響は殆ど見られなかった。また、異方性も認められない。塩化物イオンや硫酸イオンの濃度はほぼ通常の海水と等しいが、フッ化物イオン濃度は僅かに高い。沈澱物には選択的にフッ化物イオンが吸着することが実験で明らかになっており、変色海水の呈色の原因である沈澱物が海水試料に僅かに混入していた可能性がある。

海底火山活動のモニタリングには、沈澱物の組成や色調が重要であるが、それと同時に熱水の放出量を示す変色域の面積も重要な情報である。これらの観測結果は、火山活動が縮退する過程で徐々に火山体から放出される熱水の量が減っていることを示しており、変色域の縮小と整合的である。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成29年度実施計画の概要 :

海水-熱水混合実験による沈澱生成プロセスの実験を追加し、これまでの観測結果と比較検討を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京工業大学火山流体研究センター 野上健治

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京工業大学火山流体研究センター

電話 : 0279-88-7715

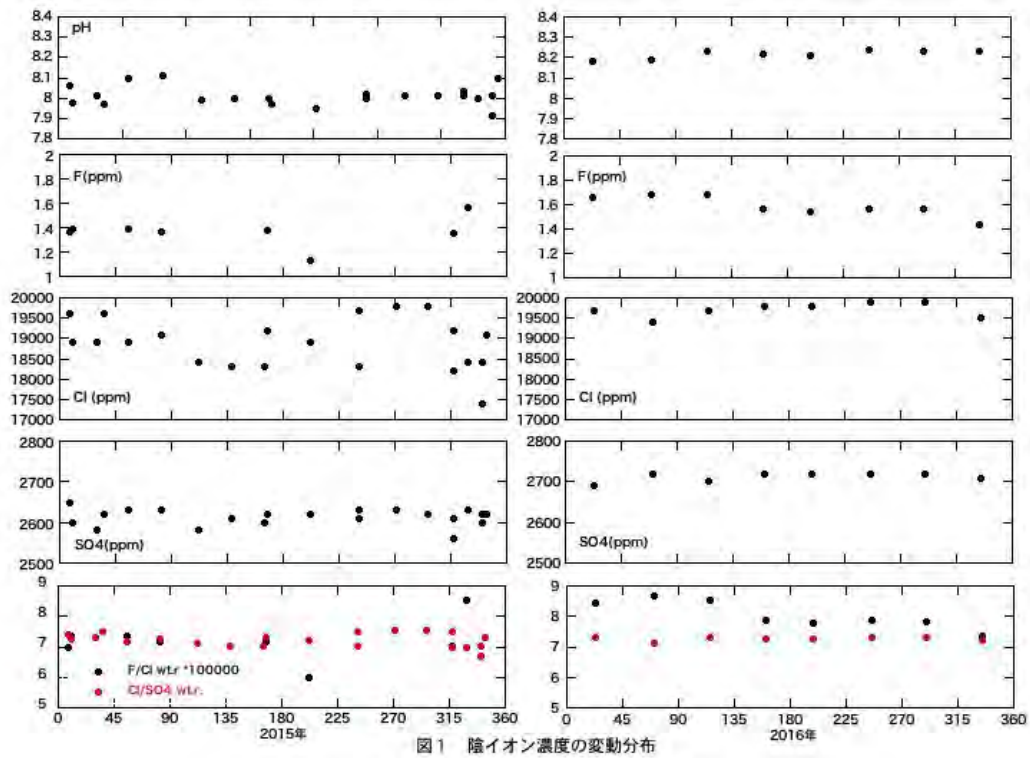
e-mail : knogami@ksvo.titech.ac.jp

URL :

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 野上健治

所属 : 東京工業大学火山流体研究センター



(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

古文書解読による南海トラフ巨大歴史地震像の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では古文書を読み解き，南海トラフ巨大歴史地震の地震活動，地殻変動，津波，人的・建物的被害状況などを地震毎に面的に整理し，情報量が多く地球物理的データも存在する昭和の南海，東南海地震と比較することによって，南海トラフでの巨大地震を明らかにすることを目的とする．古文書の解釈は人によってかなり異なることから，すでに解読がなされているものも含めて再検討し，南海トラフで発生する巨大地震の特徴を明らかにする．まだ翻刻されていない史料もたくさんあることから南海トラフ巨大地震に関する古文書調査，翻刻も並行して行う．近年，防災・減災のために自治体等でも古文書史料の重要性が言われていることから，収集した情報について地域防災に役立てやすいようなフレンドリーなデータベース化を目指す．

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では地震史料から得られる情報と昭和東南海、南海地震の被害状況などを直接比較し、過去の地震がどのような地震であったか、次に起きた場合各地でどのような災害を想定する必要があるかについて理学、工学、文学の研究者で協力しながら検討を行う。地震史料については過去に集められた史料に新たに史料を追加し、これらの史料から地震活動、地盤沈下、津波、人的被害、建物被害の情報を抽出し、地震毎に面的分布を求める。昭和の地震についてはこれまでに出版されている資料を整理、再調査を行い、これまで以上に詳細な被害分布、震度分布を求める。これと過去の地震の特徴を比較することにより、それぞれの地震の相違点を明確化し、それぞれの地震像を検討する。

[年度毎の実施事項]:

平成 26 年度: 史料収集および翻刻を行う。またすでに翻刻された史料の整理、郷土史(神社等の被害、碑など) の調査、神社明細帳の調査、古地図の収集を行う。

平成 27 年度: 引き続き調査、整理を行う。また古文書情報地点場所の推定を行う。

平成 28 年度: 引き続き調査、整理を行う。整理された史料から南海トラフ巨大地震の特徴を抽出する。翻刻史料データベースの検討を行う。

平成 29 年度: 引き続き調査、整理を行う。南海トラフ巨大地震および誘発地震の特徴を面的に検討する。翻刻史料データベースの構築を行う。

平成 30 年度: 引き続き調査、整理を行う。これまでに得られた史料から南海トラフ歴史巨大地震の地震像の推定を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要:

本年度は熊本県の自治体史、郷土史など 300 冊ほどを調査し、宝永地震や安政地震での被害状況などを調べた。また明治 22 年熊本地震については官報や新聞情報なども集め、詳細な震度分布を求めた。この地震についてはすでに武村(2016) が今村(1920) による家屋被害状況を元に震度分布を求めているが、我々は家屋だけでなくあらゆる被害を用いて震度分布を求めてみた。武村の結果と比較するとおおむね一致するが、いくつかの地域で震度が 2~3 段階異なる結果となった。旧版地形図と防災科技研による表層地盤増幅率分布と比較したところ、これらの地域では、地盤のよいところに家屋が建てられているため家屋被害が少なく、橋脚や地盤などの被害を含めた今回の結果の方が震度が大きめに出たことがわかった。現在地盤の悪いところにも家屋がたくさん建てられており、昔は被害が少なかった地域でも今後は大きな被害が出る可能性があることもわかった。震度は地盤の影響を大きく受けることから、歴史地震の震度分布を扱う場合にはどのような情報で決められた物であることを意識して活用する必要がある。このほか三重県の自治体史調査も行った。

史料については徳川林政史研究所蔵「道徳前新田御用留」を解読し、道徳前新田(現在の名古屋市南区の一部) とその周辺での安政東海地震による津波の被害について、情報を抽出した。また、現地を調査して現在に至るまでの地形改変等の情報を収集し、今後の地震・津波防災に資する知見を得た。また、豊橋市美術博物館蔵「柴田家文書」の解読に着手し、主に中部地方から関東地方にかけての地域について、安政東海・南海地震による被害の記録を抽出した。

昨年度作成したデータベース検索システムに新たにデータベースの修正や追加する機能を追加した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

都築充雄, 倉田和己, 平井敬, 安政東海地震(1854) における愛知県の寺院被害状況の整理(その 1) 目的と碧南市における事例, 日本建築学会大会, 2016.

山中佳子, 4 月 16 日熊本地震の震源過程, 熊本地震速報報告書, 2016.

武村雅之, 1889 年明治熊本地震と今回の地震について, 熊本地震速報報告書, 2016.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要:

引き続き、自治体史や郷土史などの史料調査を行い、南海トラフ地震を中心に地震情報の抽出を行う。また新たな史料については H28 年度から引き続き「柴田家文書」の解読を進め、西日本での安政東

海・南海地震による被害の記録を抽出することを試みる。また、同文書には文政京都地震（1830年）とその被害に関する記録が含まれており、これについても解説を行う。

データベースについては今年度追加した機能を利用し、データベースの修正や新たな史料情報の追加を行う。またe-コミマップに旧版地形図をいれ、史料調査で得られた情報を可視化することを検討する。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中佳子，溝口常俊（名古屋大学大学院環境学研究科）

石川寛，羽賀祥二（名古屋大学文学部）

武村雅之，都築充雄，福和伸夫，虎谷健司（名古屋大学減災連携研究センター）

他機関との共同研究の有無：無

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：sanchu@seis.nagoya-u.ac.jp

URL：http://www.seis.nagoya-u.ac.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中佳子

所属：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地表地震断層および活断層の地表形状・変位量データにもとづく直下型大地震の規模・頻度予測手法の高度化 - LiDAR 等の高解像度 DEM を用いた検討

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題は、活断層の平均変位速度分布と地震時のすべり量分布を比較し、地震発生繰り返しのばらつきを評価して、固有地震のみではなく、実態に即した複雑性を有する断層発生モデルを検討する。中越地震などのようなひとまわり小さな地震活動や、断層トレースが並走する場合の断層挙動、あるいは複数の断層の連動・非連動など、従来の固有地震説で説明できない複雑性を考慮した活動モデルの構築が必要である。そのためには航空レーザー測量 (LiDAR) 等の最新の地形計測技術を用いた詳細な変位地形分布調査と、課題検証のための戦略的なトレンチ調査が必要である。なお、LiDAR のデータ整備が全国的に進み、活断層研究に利用できる環境が整っている。

活断層による地震発生予測の高度化を実現することで、内陸地震の地震発生機構の物理モデル確立に必要な活動間隔および規模のゆらぎに関する基礎データを提供する。また、防災・減災にとって内陸地震が引き起こす災害誘因の高精度予測は想定外災害をなくすことに貢献するほか、歴史地震が人々の暮らしに与えた影響についても視野にいれることで災害研究として歴史地震の全体像解明に貢献しうる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度～28 年度は航空写真判読との比較などから LiDAR データを用いた実体視判読手法の評価をおこないながら、地表地震断層が現れたことがある根尾谷断層を中心に重点的に調査する。具体的には地震断層の詳細地震断層地図の作成、高密度変位量分布図の作成、および活断層の累積変位量分布の解明をまずおこなう。特に平成 27～28 年度は二回前の地震時の活動トレースと変位量分布の解

明を目的とし、トレース毎の活動履歴が解明できるような戦略的なトレンチ掘削調査、ボーリング調査を実施する。

平成 29 年度以降は、根尾谷断層で補完的調査をする一方で、歴史地震を発生させた活断層や前回の地震時の変位量が見積もりやすい活断層を中心に、活断層の累積変位量分布および地震時の変位量分布の解明を目的とする戦略的なトレンチ掘削調査、ボーリング調査を実施する。その間に地表地震断層が出現した場合はその断層調査も実施し、活断層から発生する地震のゆらぎと変位地形の特徴にせまり、活断層地形のタイプわけを目指す。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

地震災害軽減のためには、将来発生する地震の場所と規模、頻度など（以下「地震像」）を予測する必要がある、そのためには「活断層」「地表地震断層」「地震像」3 者の相互関係を解明することが求められる。

活断層が一般に千年程度以上の長い活動間隔を有することを考えれば、1：変動地形学的手法によって数千年～数万年の時間スケールでの調査によって活断層の位置形状を明らかにする、2：過去の「地震像」を復元して活動繰り返しパターンを明らかにする、3：活断層が実際に動いて出現した地表地震断層を精査してその位置形状と「地震像」を検証する、ことが不可欠なのは明らかで、その際には、4：近年充実しつつある高解像度 DEM を活用することも重要である。

こうした観点から、出現した地表地震断層は絶好の調査対象であることから、これを重点調査対象とすることにし、平成 28 年度は、長野県神城断層地震（平成 26 年）に関する調査などを継続して実施すると同時に、4 月に発生した熊本地震に関する緊急調査を実施した。明瞭な地表地震断層を出現させた神城断層地震および熊本地震は、3 者（「活断層」「地表地震断層」「地震像」）の相互関係を検証する貴重な機会を与えており、これを最大限に活かして地震発生予測の高度化を実現することが今後の災害軽減において極めて重要である。そのため、対象とする活断層や歴史地震を当初の計画から一部変更している。

1. 平成 28 年熊本地震の地表地震断層と活断層に関する一連の調査

熊本県熊本地方では、平成 28 年 4 月 14 日に M6.5 の地震が、またその約 28 時間後の 4 月 16 日 01:25 には M7.3 の地震が発生した（気象庁、2016）。M7.3 の地震に伴っては、明瞭な地表地震断層が、主に既知の活断層である布田川 - 日奈久断層の北東部（渡辺ほか、1979；九州活構造研究会編、1989；池田ほか、2001；中田・今泉編、2002）に沿って出現した。大学グループは本観測研究計画を最大限に活用した組織的な取り組みによって、出現した地表地震断層がほぼ出現時の姿のまま残っている間にその全貌を把握することに成功した。

(1) 変動地形に関する地表地震断層精査と解釈（広島大・東北大・名古屋大・東大地震研・愛工大・山口大・法政大・東洋大・千葉大・首都大・信州大・岡山大・京都大ほか）（図 1，図 2）

地表地震断層は、既存の活断層として知られていた日奈久断層北部から布田川断層や出ノ口断層に沿って、ほぼ連続的に生じ、その長さは約 31km である。熊本地震における「前震」及び「本震」の震源は、日奈久断層と布田川断層の接合部及び、断層トレースの形状が複雑な地域にあたっている。多くの地点で右横ずれ変位が認められ、最大右横ずれ変位量は益城町堂園で約 225cm である。日奈久断層北部沿いでは顕著な鉛直変位は認められなかった。布田川断層沿いの鉛直変位は、南部では南西側上がり、北部では北東側上がりとなり、右横ずれ断層で認められる鉛直変位のパターンと一致する。なお、鉛直変位は最大 100cm であった。出ノ口断層に沿っては、一部左横ずれ変位を伴う北西落ちの正断層変位が認められ、最大 2m に及ぶ。今回のずれの範囲や変位量からみて、日奈久断層北部から布田川断層の変動地形をつくってきた断層運動が今回生じた可能性が高い。

地表地震断層の位置は概ね既存の活断層線に沿っているものの、一部では一致していない。山地の連続性に基づいて活断層を引いていたところでも地表地震断層が通らず、想定外のところに地表地震断層が通ることや、左ずれ変位を示す共役断層の認定は、事前に行うことは難しかったといえる。地震調査研究推進本部地震調査委員会の予測では、1 回の変位量は 2 m 程度、地震の規模を M7.0 として

おり、これらの予測は概ねあっていったといえる。

(2) 熊本地震に伴う地表地震断層の分布および形態的特徴と被害分布の関係(東洋大・広島大・名古屋大・法政大・岡山大ほか)

熊本地震では、地表地震断層が出現した益城町中心部などで、地表地震断層の真上におけるずれ被害以外にも大きな被害が出るなど、地表地震断層と被害との関係が浮き彫りになった。一方で、地表地震断層が出現するものの被害が比較的軽微な地域も見られる。このことは地表地震断層の変位そのものによって被害が大きくなったわけではなく、地表地震断層のずれに伴って地下の浅い場所で発生するなんらかの現象が被害に大きな影響を与えることを示唆している。これは、歴史記録から過去の地震の地震像を推定する歴史地震学の解釈に一石を投じるだけでなく、歴史記録から地震時の断層のふるまいの特徴を知る手がかりになると思われる。

我々は、変動地形学で用いられる空中写真の実体視判読技術を活用し、国土地理院が撮影した14日の地震後16日の地震前、16日の地震後の空中写真をもとに被害の大きい地域と小さい地域の判読を行い、詳細に調べられた地表地震断層の地表変位や分布の特徴との関係を解明する作業を開始した。このメカニズムが解明されれば、従来明らかにされてきた活断層の位置形状や変位量分布からそこで発生する直下型地震の地震像の解明につながる知見が得られると思われる。

(3) 2016年熊本地震における4/14前震(Mj6.5)の地表地震断層(法政大・広島大・山口大・京都大・岡山大ほか)(図3)

2016年熊本地震の前震に伴っては、布田川-日奈久断層帯の中部にあたる、熊本県上益城郡御船町高木~同益城町福原の約6kmの区間に地表地震断層が出現した。この範囲は、同断層帯中北部に沿って出現した、本震の地表地震断層約31kmの南西端部にあたる。高木~福原では2度にわたって地表変位が起きた(前震でずれて本震で大きくなった)ということである。このような事例の報告は世界でも稀であり、前震~本震プロセスとその原因となった断層運動を理解する鍵のひとつとなる。活断層の位置形状からみると、前震の震源断層と本震の震源は、布田川-日奈久断層帯のgeometric bend付近にあり、ここへの応力集中に起因すると考えられる。また、前震と本震を隣り合った異なる断層帯の連動とみなすことは正しくない。以上の知見はSugito et al.(2016)による。

(4) 2016年熊本地震における熊本市街地附近の地表変状(広島大・京都大・東北大)

2016年熊本地震を受けて、熊本平野を対象に数値標高モデル(国土地理院基盤地図情報5mメッシュ)を用いた地形ステレオ画像を判読したところ、熊本市街地付近の段丘面を変位させる北西-南東方向に延びる撓曲崖(水前寺撓曲崖)、益城町中心街から水前寺撓曲崖の南東端に向けて東北東-西南西方向の長波長の撓曲変形(秋津川撓曲帯)が新たに確認された。2016年熊本地震後に地表踏査を行ったところ、路面や擁壁などの人工構造物に連続する亀裂が、水前寺撓曲崖、秋津川撓曲帯に沿って断続的に認められた。これらは16日の本震で生じたとされる。水前寺撓曲崖の一部ではわずかながら左ずれが確認された。水前寺撓曲崖の上に作られている熊本工業高校のプールでは8cmの傾きが確認でき、撓曲崖が成長したと考えられる。これらの地表変状は合成開口レーダーの解析とも調和的である(国土地理院,2016)。余震分布からは水前寺撓曲崖の下に北西-南東方向に延びる比較的浅い地震が分布しており(気象庁,2016)、地下浅部での破断が推定される。ただし、断層の長さから想定される変位量ではなかったことから、布田川-日奈久断層帯の活動に誘発されて変位した可能性がある。

2. 平成26年長野県神城断層地震の地表地震断層と活断層に関する一連の調査

平成26年長野県神城断層地震は、糸魚川-静岡構造線の最北部の活動により生じた。この地震は、活断層と地震発生との関係を解明し、地震発生予測を通じて災害軽減に貢献するために重要な研究課題である。既報告のとおり、平成26・27年度には緊急調査により、1:地表地震断層分布の把握、2:UAVによる写真撮影と細密DSMにもとづく変位量計測と検証、3:LiDAR差分による上下変位量計測、4:SARなどの測地学的データとの整合性の確認、5:既往の活断層図の検証が行われ、平成28年度は引き続き「活断層」「地表地震断層」からみた「地震像」の理解がすすみ、1:古地震活動解明による地震発生長期予測の見直し、2:都市圏活断層図の改訂(位置情報の検証)、3:LiDAR差分に基づく地震時変位ベクトル分布の解明、などの課題を引き続き実施している。

(1) 累積変位を示す変動地形に関する精査(信州大・法政大・岡山大・東洋大・名古屋大・首都大・東大・鶴岡高専ほか)

地震直後の地表踏査からでは見つけることができず、地震前後の LiDAR データの解析によって発見された蕨平地区の変動地形は、地形学的観点から、複数の活動の結果形成されたと考えられる。この変動地形に関する精査が平成 27 年度よりおこなわれ、神城断層の活動履歴が明らかになってきた。その結果、神城断層が活動して発生する地震の「地震像」には 2 つ以上のパターンがあることが推定できた。本年度は、これら 2 つ以上のパターンの「地震像」に関する詳細なデータを得るための調査を行った。調査地点は松川の左岸に分布する低位段丘面上である。これら段丘面に東側隆起の変位を与える断層が 2 本並走し、西側の断層の変位が大きい。西側の断層では隆起側はさらに複数の段丘に細分化され、断層活動に伴う局所的な隆起が段丘を形成した可能性が考えられる。そこで、東側の断層ではトレンチ掘削調査を実施し、西側では低下側でボーリング、上昇側では細分化された各々の段丘でピット調査を実施し、各段丘面の離水年代(=活動時期と読み替えて)を明らかにした。森上地区東側トレースのトレンチは、断層と直交する約 10m の調査溝を掘削した。壁面基底には段丘を構成する亜角~亜円礫層が認められ、さらに腐植質砂礫層がこれを覆う。その上位にも礫層が覆うがこれは人工的に埋められたものである。これら地層に東傾斜の 2 条の逆断層が変位を与えており、その低下側(西側)にのみ黒色腐植混じりの砂礫層が分布する。これら段丘礫層と黒色腐植混じり砂礫層の変位から、少なくとも 2 回の地震イベントを読み取ることができた。活動時期については 14C 年代測定中である。一方森上地区西側のトレースでは、断層と並行して農業用水路が通るためトレンチ掘削は難しく、断層を挟んで低下側にはボーリング(6m)、上昇側では離水した 4 つの段丘面の各々においてピット掘削調査を実施した。各ピットでは段丘を構成する亜角~亜円礫層とその上位に若干の腐植質の地層を認めている。L2 面を開析する谷底のピットでは、西側隆起の副次的な断層が出現し、低下側である東側には 1m 程度の礫混じり腐植層が分布した。現在、年代測定を進めている。

(2) 都市圏活断層図の改訂に関する検討(信州大・法政大・名古屋大・広島大・東北大・山口大・首都大・岡山大・鶴岡高専)

当該地域の「都市圏活断層図」は、1999 年に大学グループも参加して作成されていた。本課題の調査結果などを踏まえ、改訂作業を行った。検証の結果、1: 大半の活断層情報については変更する必要がないこと、2: DEM のステレオ画像の判読により、細かな地形が捉えられ、詳細な分布が明らかとなったこと、3: それでも地震前に神城地震の地震断層をすべて捉えることはできなかったこと、などを確認した。改訂版が国土地理院から刊行された。

(3) LiDAR DEM の変位ベクトル分布による変動量計測(東北大・首都大)(図 4)

地震前後の詳細な LiDAR データを比較することができれば、地表変動量を精査することができる。今回の事例では地震前のデータが国交省から提供された 1mDEM であり、地表変動量も 1m 以下であることから、単純な差分だけでも上下変位は把握できる(Suzuki, 2015)が、ベクトル解析(Mukoyama, 2011)により水平方向の移動も考慮した変動量の精査を実施した。その結果、Okada et al.(2015)で認められていた地表変状とほぼ一致する結果が得られた。

有意な変位量と思われる約 0.2m 以上の連続的な上下変位を示す地点は、塩島~堀之内であった。一方、水平変位に関しては、上下変位が認められる領域の南北延長部でも認められた。水平変位が変化する点は、北側は姫川に沿って千国あたりまで、南側は青木湖まで連続的に確認された。

これらのことから、上下変位は塩島~堀之内であり地表踏査による地震断層出現区間と一致し、上下変位を伴わないものの東西短縮変形が及ぶ範囲は地震断層出現区間を大幅に超え、千国~青木湖の南北約 20 km におよぶ。これら短縮変形が認められる区間は、干渉 SAR の結果や地震波インバージョン・余震分布による震源断層域とも一致している。

ただし、隆起量分布を細部まで注視すると、地表踏査では変位量が周囲と比較してやや小さいとされた地表地震断層中央部では変位量の減少はみられず、周囲よりブロードな変形となる。これは LiDAR データは現地調査において把握しきれなかった地震断層変位を捉えることができることを意味している。

また本手法では、鉛直方向と水平方向に分離できることで、より詳細な地震時変位の特徴を捉える

ことができた。地震前後の LiDAR 地形計測データは、現地調査で不十分だった地点の検証および再調査の際の基礎データとしてきわめて有用であり、地表地震断層位置や端点の把握や変位量分布の推定に十分な情報を示した。加えて、よりブロードな変形を捉える可能性が高まり、地表地震断層の地表変形の把握に新たな可能性を見いだせた。

この結果は地震波による地下の地震断層の解析や干渉 SAR による広域の地殻変動の空間的なスケールと地表地震断層の地形地質踏査の空間的なスケールとの間の理解を埋めるものであり、過去に発生した地震の地震像を地形地質学的な活断層調査から推定するうえで、空間的スケールの差異を埋める有用な知見をもたらすことが期待される。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Sugito, N., H. Goto, Y. Kumahara, H. Tsutsumi, T. Nakata, K. Kagohara, N. Matsuta, and H. Yoshida, 2016, Surface fault ruptures associated with the 14 April foreshock (Mj 6.5) of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, southwest Japan, *Earth, Planets and Space*, 68, Article number 170. doi: 10.1186/s40623-016-0547-5
- 後藤秀昭・熊原康博・中田 高・石黒 聡・石村大輔・石山達也・岡田真介・楳原京子・柏原真太郎・金田平太郎・杉戸信彦・鈴木康弘・竹竝大士・田中 圭・田中知季・堤 浩之・遠田晋次・廣内大助・松多信尚・森木ひかる・吉田春香・渡辺満久, 2016, 2016 年熊本地震の地表地震断層。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, MIS34-P44
- Hideaki Goto, Hiroyuki Tsutsumi, Shinji Toda, Yasuhiro Kumahara, 2016, Geomorphic features of surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake in and around the downtown of Kumamoto City, and implications on triggered slip along active faults, *Earth, Planets and Space* DOI :10.1186/s40623-017-0603-9.
- 石村大輔・遠田晋次・向山 栄・本間信一, 2016, LiDAR 差分解析による 2014 年長野県北部地震の地表地震断層と変位量分布。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, SSS31-17
- 熊原康博・後藤秀昭・中田 高・石黒聡士・石村大輔・石山達也・岡田真介・楳原京子・柏原真太郎・金田平太郎・杉戸信彦・鈴木康弘・竹竝大士・田中 圭・田中知季・堤 浩之・遠田晋次・廣内大助・松多信尚・箕田友和・森木ひかる・吉田春香・渡辺満久, 2016, 2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の分布とその特徴。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, MIS34-05
- 松多信尚・杉戸信彦・廣内大助・池田一貴・澤 祥・渡辺満久・鈴木康弘, 2016, 神城断層(糸魚川静岡構造線活断層) の活動履歴 - 白馬村蕨平における変動地形学的調査。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, SSS31-P14
- 中田 高, 2016, 地震断層からみた 2016 年熊本地震の震源過程。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, MIS34-P46
- 杉戸信彦・後藤秀昭・熊原康博・中田 高・楳原京子・堤 浩之・松多信尚・吉田春, 2016, 2016 年熊本地震の「前震」に伴う益城町島田・小池～嘉島町井寺付近の地表変形。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, MIS34-P54
- 鈴木康弘・渡辺満久・中田 高, 2016, 2016 年熊本地震が提起する地震災害予測および防災の課題。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, MIS34-10
- 渡辺満久・鈴木康弘・中田 高, 2016, 地震断層と益城町市街地と南阿蘇村の「震災の帯」。地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, MIS34-P90
- 廣内大助・松多信尚・安江健一・竹下欣宏・道家涼介・佐藤善輝・石村大輔・石山達也・杉戸信彦・塩野敏昭・谷口薫・澤 祥・神城断層調査グループ, 2016, 糸魚川 静岡構造線活断層帯神城断層北部における断層活動。日本地理学会春季大会, 筑波, 100281
- Goto, Hideaki, Kumahara, Y., Nakata, T., Tsutsumi, H., Toda S., Okada, S., Suzuki, Y., Watanabe, M., Ishimura, D., Sugito, N., Matsuta, N., Kagohara, K., Ishiyama, T., Kaneda, H., Kashiwara, S., Tanaka, T., Hirouchi, D., Ishiguro, S., Tanaka, K., Yoshida, H., Takenami, H., Moriki, H., Minota, T. (2016): Dis-

tribution of surface rupture associated the 2016 Kumamoto earthquake and its significance. American Geophysical Union Fall Meeting 2016, T14A-01 (Invited)

熊原康博・後藤秀昭・廣内大助, 2016, 地表地震断層と地殻変動 - 2014 年長野県北部の地震と 2016 年熊本地震を事例に -, 日本活断層学会 2016 年度秋季学術大会講演予稿集, S-1, 東京, 10 月, (招待講演).

中田 高・後藤秀昭・田中圭・池辺伸一郎・隈元 崇・松多信尚・楳原京子・渡辺満久・鈴木康弘・高田圭太, 2016, 熊本地震にともなう二重峠地震帯の活動, 地震学会発表要旨, S21-04.

渡辺満久・中田 高・後藤秀昭・田中 圭・鈴木康弘・高田圭太, 2016, 年熊本地震時に「清正公道」に沿って出現した地震断層, 活断層学会発表要旨, O-10

田中 圭・中田 高・松多信尚・楳原京子・竹竝大士・隈元 崇・森木ひかる, 2016, 2016 年熊本地震による阿蘇カルデラの北部低地に見られる亀裂と地震断層: 地上調査と低空撮画像の解析による検討, 連合大会発表要旨, MIS34-P52

Stephen Angster, Steven Wesnousky, Weiliang Haung, Graham Kent, Takashi Nakata, Hideaki Goto (2016) Application of UAV Photography to Refining the Pyramid Lake Fault Slip Rate, Nevada. Bulletin of the Seismological Society of America April 2016 106:785-798. doi:10.1785/0120150144

(10) 平成 29 年度実施計画の概要:

平成 28 年度は熊本地震が発生し地表地震断層が出現したことで、この地表地震断層の解明および、平成 27 年に発生した神城地表地震断層の調査を重点的に行った。平成 29 年度は地表地震断層が立て続けに出現した機会を活用するなどして、本研究の当初の目的である「LiDAR や UAV などの最新技術を活用し、変動地形学的に認められる活断層の位置・形状・累積変位量分布やそのもう一回前の地震で現れたであろう変位の量分布を比較・検討し、地震 地表地震断層 活断層地形の関係を再構築する」につなげることを目指す。具体的には(1)引き続き、トレースごとの活動履歴が解明できるような戦略的なトレンチ掘削調査を実施。(2)地表地震断層などにおける詳細な DEM データを用いた様々な変位地形の検出。(3)地表地震断層などにおける微小変位地形と活動履歴の関連を地形・地質調査から解明。などを行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

鈴木康弘(名古屋大学)

他機関との共同研究の有無: 有

広島大学(後藤秀昭・熊原康博・中田 高)・岡山大学(松多信尚)・信州大学(廣内大助)・千葉大学(金田平太郎)・東大地震研(石山達也)・東北大学(石村大輔・岡田真介)・山口大学(楳原京子)・東洋大学(渡辺満久)・法政大学(杉戸信彦)・国立鶴岡工業高等専門学校(澤 祥)等

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 名古屋大学減災連携研究センター

電話: 052-789-3468

e-mail:

URL: <http://www.gensai.nagoya-u.ac.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 鈴木康弘

所属: 名古屋大学減災連携研究センター

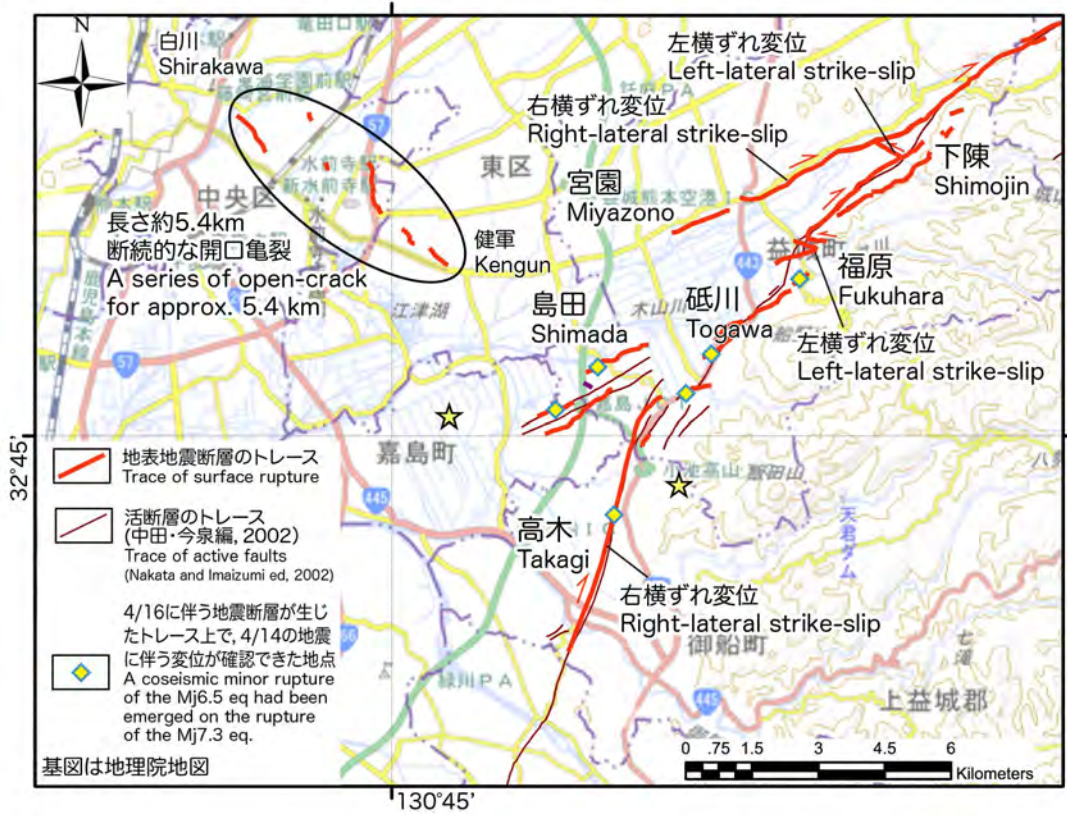


図1 2016年熊本地震で出現した地表地震断層 南西部

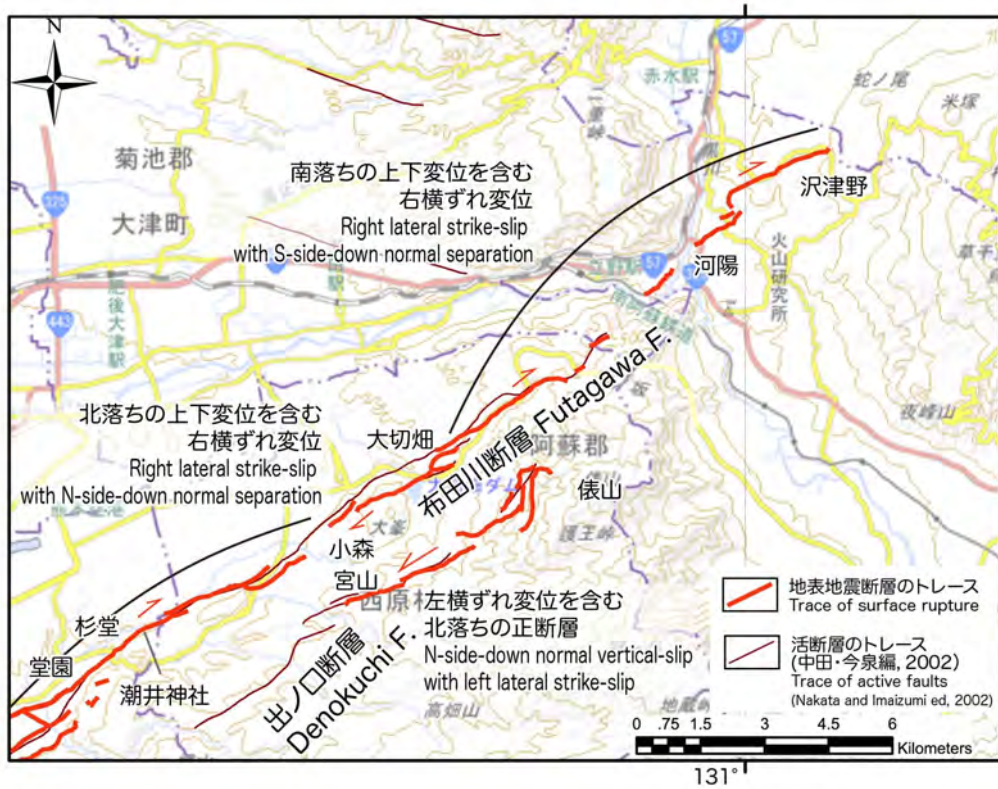


図2 2016年熊本地震で出現した地表地震断層 北東部

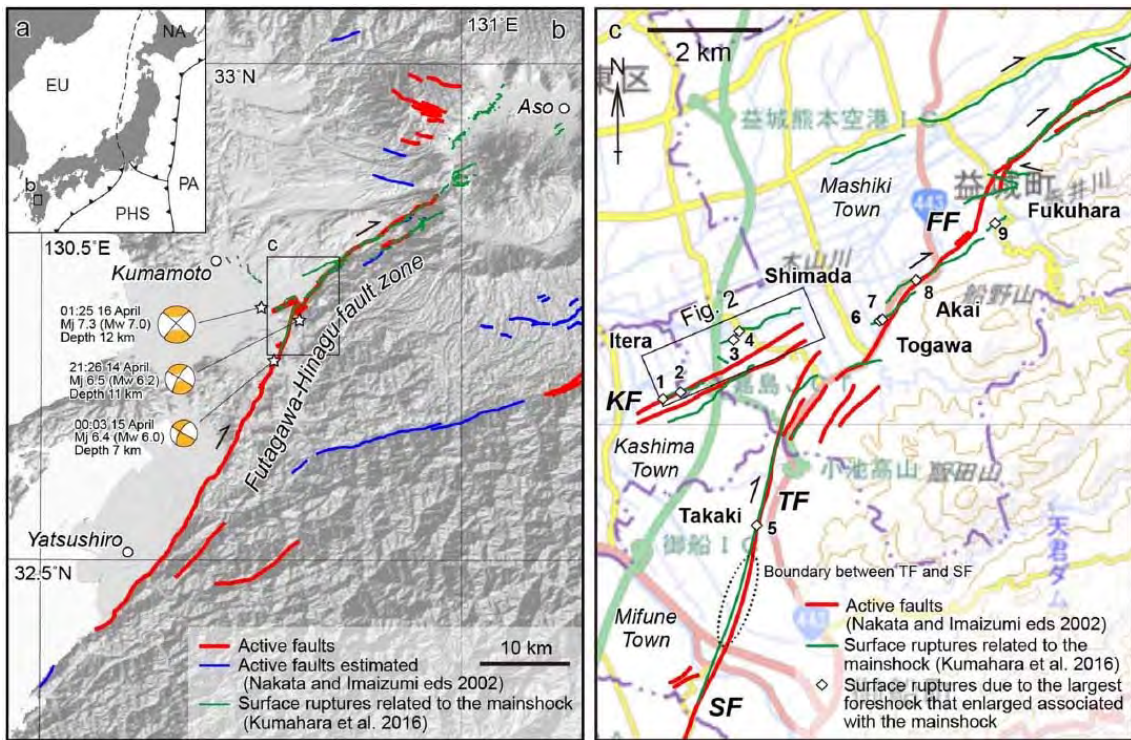


図3 2016年熊本地震の前震に伴って出現した地表地震断層 (Sugito et al. 2016)

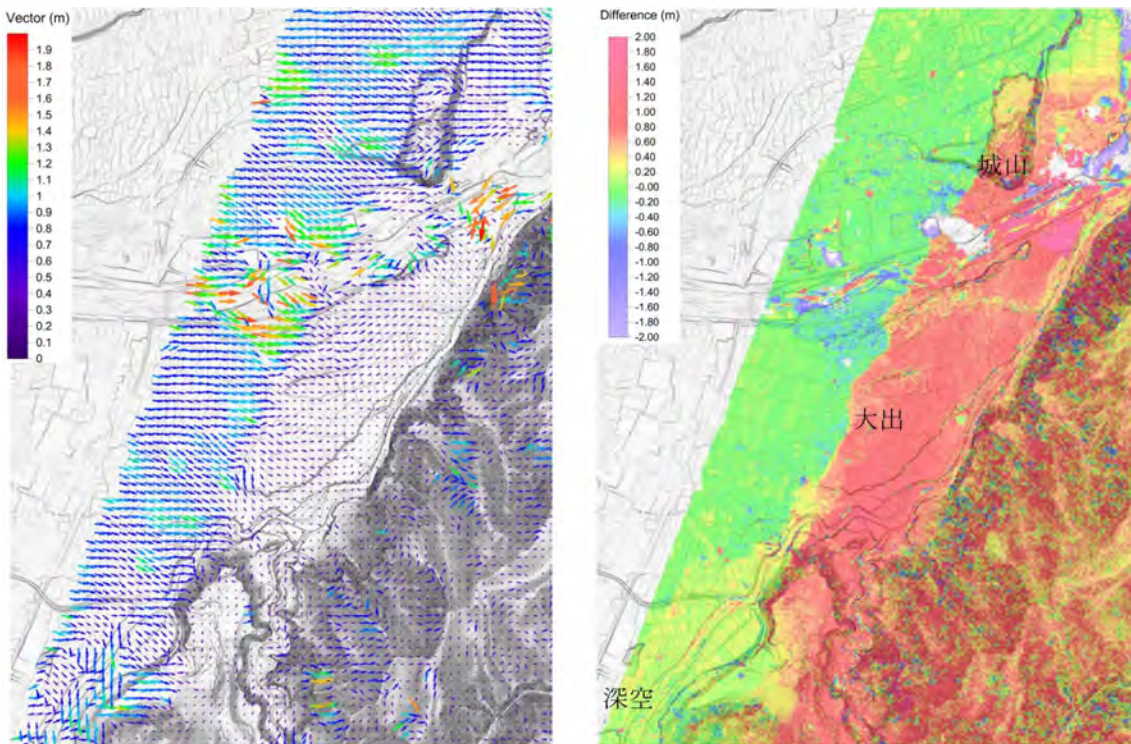


図4 神城断層地震における地震前後のLiDARデータを用いた変位ベクトル解析結果(左)水平移動量 (右)鉛直移動量

- (1) 実施機関名：
名古屋大学
- (2) 研究課題(または観測項目)名：
南海トラフ域における巨大地震断層域の力学・変形特性の把握
- (3) 最も関連の深い建議の項目：
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
(2) モニタリングによる地震活動予測
ア. プレート境界滑りの時空間発展
- (4) その他関連する建議の項目：
1. 地震・火山現象の解明のための研究
(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明
イ. プレート境界巨大地震
(3) 地震・火山噴火の発生場の解明
ア. プレート境界地震
(4) 地震現象のモデル化
イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
(1) 地震発生長期評価手法の高度化
(2) モニタリングによる地震活動予測
イ. 地殻ひずみ・応力の変動
3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
4. 研究を推進するための体制の整備
(2) 研究基盤の開発・整備
ア. 観測基盤の整備
ウ. 観測・解析技術の開発
(3) 関連研究分野との連携の強化
- (5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：
南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標 :

南海トラフ域を対象として、地震発生予測の基本となる海溝型巨大地震の理解のために本質的に不可欠な (A) プレート境界面の力学的特性の時空間変化の把握と (B) 海底地形やプレート形状も含めた巨大地震断層形状の把握をめざす。そのため、測地学的データなどからプレート間固着の時空間分布を把握し、そのプレート間固着の多様な振る舞いからプレート境界面上の力学特性を明らかにする。陸上のデータのみでなく、GPS/音響方式による海底地殻変動モニタリングを熊野灘沖の南海トラフ軸近傍の 2 ヶ所で実施し、プレート境界浅部におけるプレート間固着の現状把握をめざす。またこれまでに設置した ACROSS 震源の運転を継続するとともに、プレート境界面で変換された地震波や、トラップされた波の解析によるアプローチを試み、合わせてプレート境界の力学特性の時間変化検出をめざす。

格段に詳細な海底地形データ等を新たに取得し、従来の地形データとあわせて、海底活断層の位置形状や活動履歴等を詳しく調べる。歴史地震の発生源や将来の巨大地震の断層モデルに関し、地震学的・測地学的視点とは異なる変動地形学的観点からの方法論を提示するとともに、巨大地震断層面と海底地形との関連を検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本研究課題では (A) プレート境界面の力学的特性の時空間変化の把握と、(B) 巨大地震の断層形状の把握のために以下の 6 項目の研究を実施する :

1) 過去の測地データの活用

平成 26 年度 ~ 平成 28 年度において過去の測地学的データの整理・解析を行い、長期 ~ 中期のプレート固着の時空間分布を推定する。その後モデルの高度化とプレート境界の力学特性を推定する。

2) 陸上での GPS 観測

平成 26 年度 ~ 平成 29 年度で GPS 観測点の整備及びデータ蓄積を行い、GEONET と統合解析を行い、プレート間カップリングや地殻の歪みを推定する。

3) 海底地殻変動観測

期間中継続して、南海トラフ沿いに既に設置している観測点での測定を 1 回 / 年以上の頻度で行い、地殻変動データを蓄積するとともに解析を逐次行う。以前の測定期間も通した観測を総合することにより、高精度の変位速度ベクトルを獲得する。

4) ACROSS による解析

期間を通して ACROSS 震源の連続運転を継続する。並行して過去のデータも統合しながら、震源と周辺の観測点間での各種到達波の走時や反射波振幅の時間変化を監視する。課題の期間中に項目 2) 等などからスロースリップが検出された場合には、それに伴う力学特性の変化の推定を試みる。

5) プレート境界面トラップ波・変換波解析

平成 26 年度にデータ整理を行い、その後の年度で解析を行う。特にプレート境界面の形状や境界面周囲の力学的特性を明らかにすることを目指す。

6) プレート境界周辺海底活断層の変動地形学的・古地震学的調査

平成 26 年度 ~ 平成 27 年度は調査地を選定し、海底地形詳細調査を実施する。

平成 28 年度以降は、それまでの成果に基づき、海底地形詳細調査と堆積物調査等を実施するとともに、変動地形学的・古地震学的データの解析を行う。

期間終盤では、上記の項目の成果を統合しプレート境界の力学特性を把握するとともに、南海トラフ沿いにおける統一モデルの構築を目指す。また海底活断層が引き起こす津波のシミュレーションなどもおこなう。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
本研究課題では、平成 28 年度についても(A)プレート境界面の力学的特性の時空間変化の把握と、
(B) 巨大地震の断層形状の把握のために以下の 6 項目の研究を実施した。1) 過去の測地データの活用 本年度はプレート間カップリングを推定するための準備を行った。プレート境界面上のカップリングを推定するためには、内陸断層との相互作用を考慮した解析が必要不可欠であることから、新たに解析プログラムの作成を行った。本解析プログラムでは、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて、プレート間カップリング及び、地殻ブロックの運動を確率密度関数として推定する。また、昨年度までに構築した FEM による GREEN 関数を取り込むことができる枠組みを考慮している。これらの新規に作成したプログラムにより、地殻ブロックモデルの構築を実施した(図 1 , 図 2)。次年度ではこの解析により半無限弾性体におけるプレート間カップリングの推定を行う。
- 2) 陸上での GPS 観測 本年度は、昨年度までの観測網に加えて、3 箇所の GNSS 観測点を新設した(図 3)。これらの 3 点は低周波微動が発生する直上の三重県側に設置した。この地域は山間部であるため、GEONET 観測網の観測点密度の低い地域であることから、これらの検出精度の向上が見込まれる。
- 3) 海底地殻変動観測 本年度は、熊野灘および南海トラフ軸でのモニタリングのための観測を行った(図 4)。熊野灘においては、3 観測点で 1 ~ 2 回の測定を実施した。南海トラフ軸付近では 3 観測点で 2 回の測定を実施した。トラフ軸のフィリピン海プレート上の観測点(TOA)の動きは、モデルから推定したフィリピン海プレートの運動と整合的である。これはフィリピン海プレートの運動を実測に成功したことを示している。またトラフ軸の陸側の 2 観測点(TCA, TCB)はそれぞれ様子が異なる。TCA 直下のプレート間の固着率は少なくとも 40% 程度であることが分かった。また TCB は、誤差も考慮するとフィリピン海プレートの動きに近く、TCB 直下の固着率が高いことを示唆している。
- 4) ACROSS による解析 本年度は、昨年度に引き続き、岐阜県土岐市・愛知県豊橋市・静岡県森町に設置してある震源装置の稼働を継続して行った。森町の震源については、ベアリング破損による故障の修理が終了し、連続運転を再開した。土岐市および豊橋市の ACROSS 震源については、一年を通じてほぼ連続的に運転を行う事ができた。本年度は、主に、森町の震源を用いて周辺の観測点で観測した伝達関数の変動を 2007 年 ~ 2014 年について詳細に解析した。その結果、全期間について徐々に地震波速度が速まる傾向と、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に地震波速度が遅くなる現象を確認することができた。2011 年東北地方太平洋沖地震の際の変動を震源から最も近い Hi-net 森観測点(4km)での伝達関数を詳細に調べると、地震時に地震波速度が減少し、1 週間程度で回復するものの地震前からは減少した値に収束する現象が見られた(図 5)。地震に伴う地震波速度変動に複数のメカニズムが関与している可能性がある。
- 5) プレート境界面トラップ波・変換波解析 本年度は、稠密地震観測記録で捉えた深発地震の地震波に地震波干渉法を適用して、静岡県東部地域のプレートの上部境界および地殻内の構造のイメージを行い、先行研究で得られた変換波解析と比較した。その結果、プレート上面と考えられる構造境界および地殻内の地質境界(付加体内部の砂岩・泥岩相と海洋性地殻物質の境界)と見られる構造境界を検出することができた。この手法を広く適用すればより詳細なイメージを得られることが期待できる。
- 6) プレート境界周辺海底活断層の変動地形的・古地震学的調査 本年度は、昨年度までの成果に基づいて、熊野灘において、詳細な海底地形調査および海底下浅層地質構造探査を行った。海底地形調査としては、従来は 3 秒メッシュであったものを 1 秒メッシュのデータを取得し、詳細な地形イメージを得た(図 6)。また海底谷出口付近でピストンコア?によるコアを 4 本取得するとともに、浅層地下構造探査を 3 測線で実施した。コア試料は高知大学海洋コア総合研究センター(担当: 岩井雅夫教授)にて分析をすすめた。以上の調査結果に立脚して、海底活断層の位置形状や活動履歴等に関する検討を行った。

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山岡耕春・鷺谷威・渡辺俊樹・鈴木康弘・田所敬一・橋本千尋・伊藤武男(7名)

他機関との共同研究の有無：有

静岡大学(生田領野), 気象研究所(勝間田明男, 他1), 岡山大学(松多信尚, 他1) 広島大学(後藤秀昭, 他1), 高知大学(徳山英一), 東洋大学(渡辺満久), 法政大学(杉戸信彦), 東海大学(坂本泉), 海上保安庁(泉 紀明), 国立環境研究所(石黒聡士)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：山岡 耕春

所属：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター

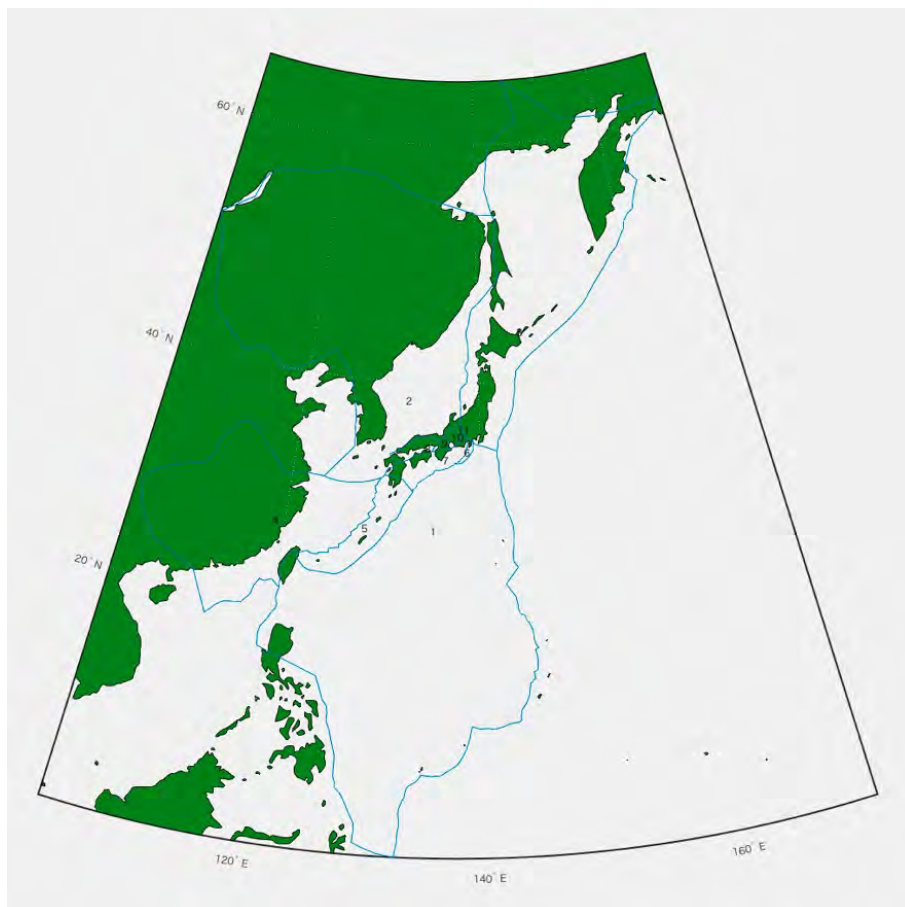


図 1：本プログラムで作成した地殻ブロックモデルマップ。青線：地殻ブロック境界

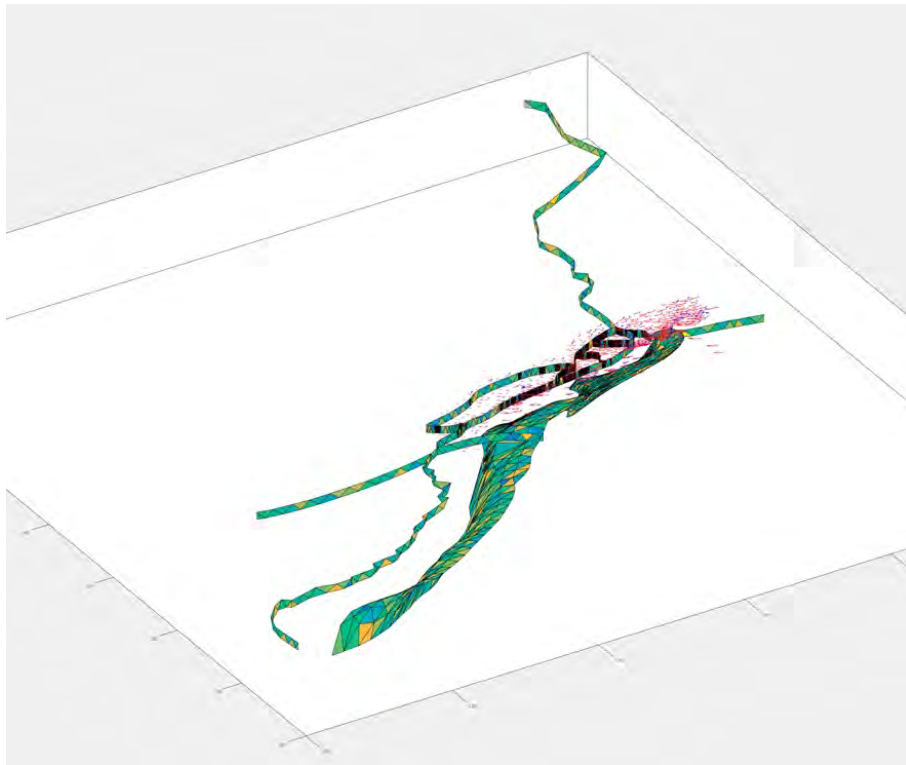


図 2 : 本プログラムで作成した地殻ブロックモデルの鳥瞰図 (日本列島付近の拡大図)。
赤矢印 : GEONET と海底地殻変動観測による変動速度ベクトル。

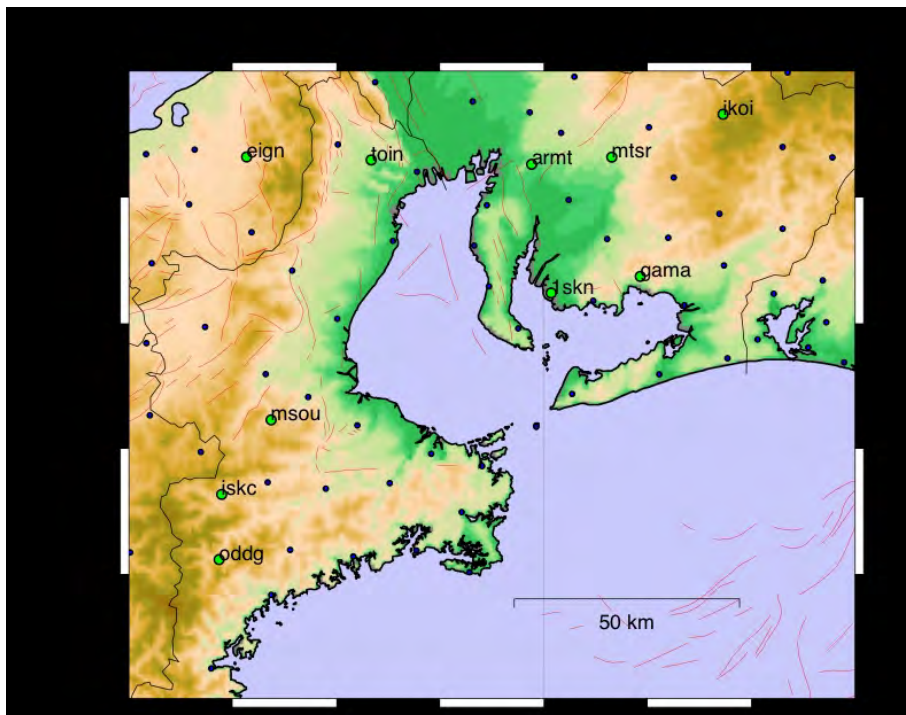


図 3 : GNSS 観測点マップ。
青丸 : GEONET 緑丸 : 名大の GNSS 連続観測点

熊野海盆～南海トラフ軸での観測結果

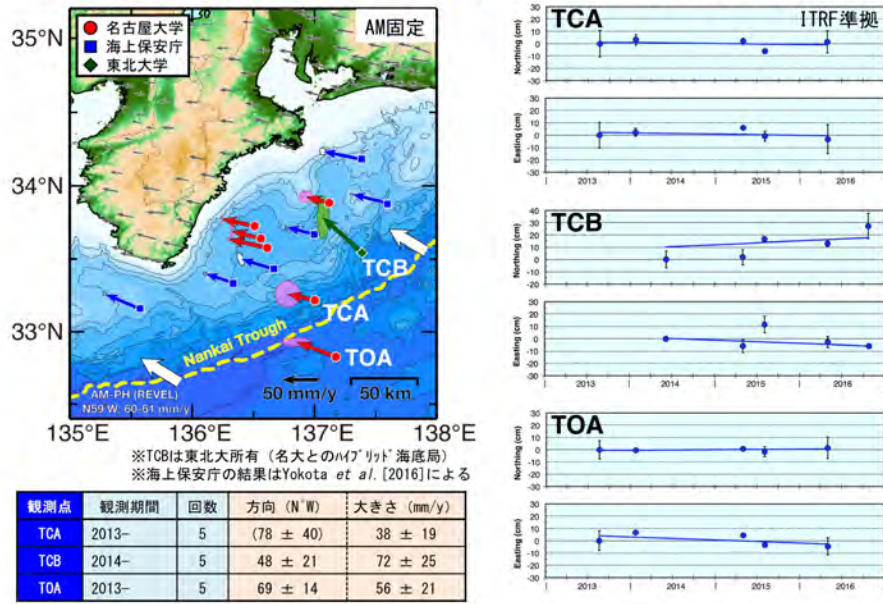


図4：熊野灘～南海トラフ軸での海底地殻変動観測結果

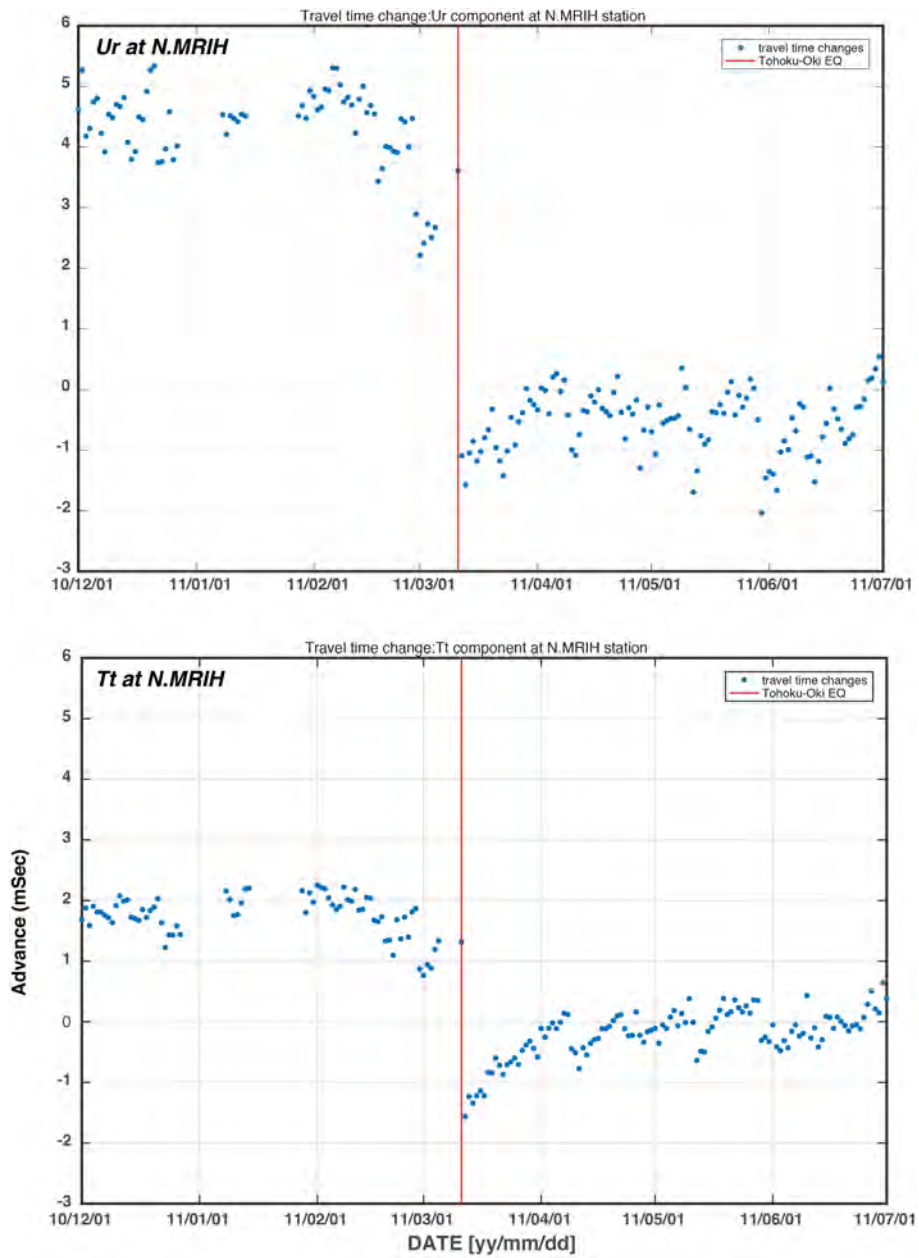


図5：2011年東北地方太平洋沖地震にともなう走時変化
 森町 ACROSS 送信点と Hi-net 森の間の伝達関数の変動。Ur はラジアル加振ー上下受信、Tt はトランスバース加振ートランスバース受信の伝達関数。赤線が 2011 年東北地方太平洋沖地震。

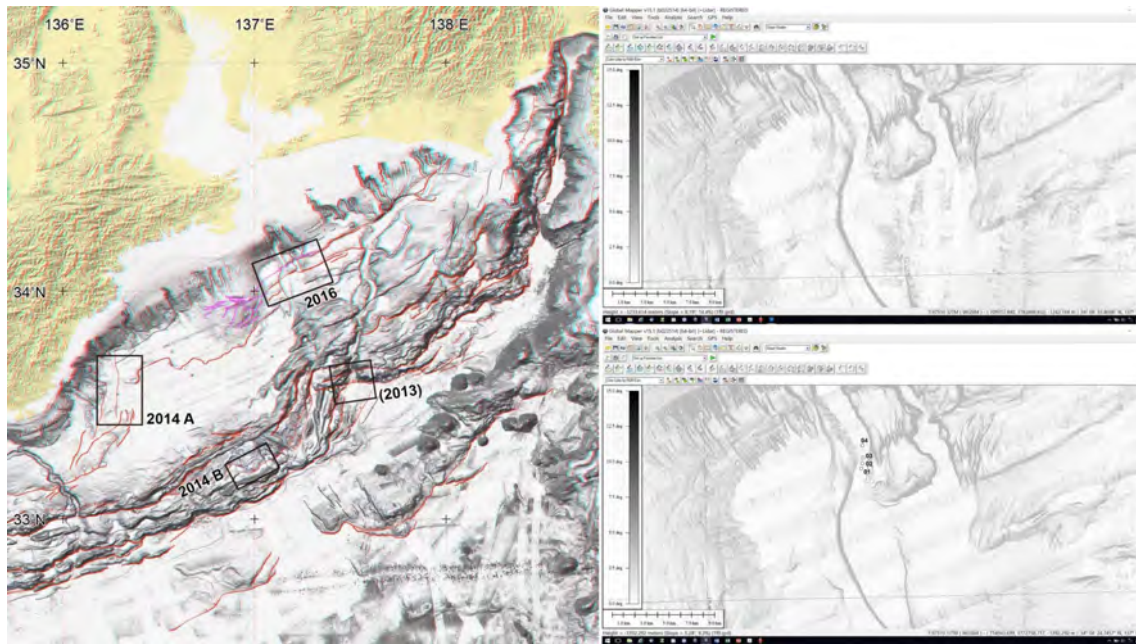


図 6：海底地形・地質調査

(左) 調査海域 (右) 傾斜区分図(上は従来の DEM、下は今回の 1m メッシュDEM に基づく)

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震・津波被害に対する地域社会の脆弱性測定に基づくボトムアップ型コミュニティ防災・減災に関する文理融合的研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

「脆弱性」という概念は、ボトムアップ型コミュニティ防災・減災を考えるための基本的フレームにとって中心的な位置を占める。しかし、「脆弱性」をどう捉えるかに関しては、様々な立場がある。本課題の到達目標は、「脆弱性」概念に関して、概念的整理を行うとともに、東日本大震災の被災地の状況を参照しながら内容を明確化し、最終的に尺度として洗練させることである。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

初年度(2014年度)においては、地震・津波被災地、具体的には東日本大震災の被災地に関して、避難行動等においてコミュニティがどのような防災・減災力を発揮したか/しなかったかを検証し、脆弱性とコミュニティ防災・減災力に関する作業仮説を構築する。

2015年度～2017年度においては、南海トラフ巨大地震で被害が想定される中小都市、沿岸漁村、大都市の3つの空間的・社会的特性の異なる地点を選定し、作業仮説の検証を行う。

最終年度(2018年度)においては、脆弱性尺度をより洗練させ、ボトムアップのコミュニティ防災・減災を考えるための基礎的なフレームの構築に貢献する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

これまでの研究から得られたのは、脆弱性は土地利用、災害対策、社会的凝集性、防災意識・災害文化の4つの次元で捉えることが妥当ではないかという仮説である。

脆弱性の指標

1) 土地利用ツ效肋魴鑑ノ邑 埤垠莽茵 埤垠 '宗○唆埤洪

2) 災害対策ッ蓮重病从 . 愁佞搬从

3) 社会的凝集性ッ楼莉嗣荏反ア) 漂卅反アメ匈 NPO 組織間間系 行政との協働

4) 防災意識・災害文化ズ匈欧僚弦臈 院 弦臈 唄 屐 弦臈 唄 う戦鷗
平成 27 年度後半から平成 28 年度にかけて、名古屋市南区道德学区、柴田学区、白水学区、千鳥学区、星崎学区を選定し、質的・量的調査を行った(図 1 5 学区の位置)。これら 5 学区はいずれも江戸時代以降干拓が進んだ海拔ゼロメートル地帯であり、1959 年の伊勢湾台風によって甚大な被害を受けた地域である(名古屋市全体の死者数 1851 人の内、南区はその 76.5%にあたる 1417 人が犠牲になっている)。いずれの学区も、概ね南海トラフ巨大地震での震度は 6 弱~7 弱、津波による浸水深度は 1~3m 程度が予想されている。(図 2 予想震度、図 3 予想浸水深度)

以下では、現時点で質的・量的調査の双方のデータが得られている道德、柴田、星崎の 3 学区について報告する。

まず、質的調査を以下の(a)(b)(c)を対象に行った。質的調査の内容は、地区の観察(地形、道路、学校・公園・公的施設など指定避難場所等の分布など)、文書資料の収集、インタビュー調査である。

- (a) 学区の防災リーダー、具体的には学区連絡協議会会長および消防団長
- (b) 末端行政機関(南区役所)防災担当者
- (c) 自治会長小学校防災担当管理職

質的調査の結果、判明した事実を図 4 にまとめる(図 4 質的調査で判明した事実)。

次に、量的調査である。平成 27 年 12 月に道德学区、柴田学区、星崎学区、白水学区、千鳥学区の計 5 学区の住民を対象として、質問紙調査を行った。対象 5 学区の有権者名簿から無作為抽出で 1511 票を選び、郵送法によって調査を実施、回収率は 37%であった。質問項目は、南海トラフ巨大地震の危険度認知(震度・津波到達時間・最大浸水深・倒壊率・液化化率・道路閉鎖・火災延焼)、災害対策として防災意識・行動(ハザードマップ利用・防災訓練参加、耐震無料診断)、災害の集合的記憶として伊勢湾台風経験、社会的凝集性として近所づきあい等、である。

その結果、伊勢湾台風に関する知識、ハザードマップの所有・活用程度、行政が提供する無料耐震診断の利用に関して、3 学区で差が見られた。いずれも道德>星崎>柴田であった。また、防災訓練への参加に関しても、3 学区で有意な差がみられた。星崎>柴田>道德の順に参加率が高い。ところが、液化化を除く南海トラフ巨大地震の危険度認知、居住地の海拔認知については、3 学区で有意な差はみられなかった。

質的調査、量的調査を総合して、以下の知見が得られた。

南海トラフ巨大地震の危険度認知(震度・津波到達時間・最大浸水深・倒壊率・液化化率・道路閉鎖・火災延焼)、海拔、ハザードマップに関しては、行政から情報が公開されており、ネット経由で閲覧可能である。無料耐震診断に関する情報も行政から提供されている。ローカル・メディアでは頻繁に地震に対する備えの必要性が説かれている。ハザードマップと防災訓練参加に関して、学区間で差があったものの、肝心の自分が居住している海拔と南海トラフ巨大地震の危険度認知(震度・津波到達時間・最大浸水深・倒壊率・液化化率・道路閉鎖・火災延焼)に学区間で有意差はなかった。ハザードマップを活用しても、また防災訓練に参加しても、それが危険性認知の向上にストレートにつながるわけではないようだ。

学区別にみると、道德学区は、地域リーダーレベルの防災意識も高く、訓練も頻繁に行われているのに対し、柴田学区では、地域リーダーレベルの防災意欲は高くなく、訓練は年 1 回しか行われていない。ところが質問紙調査の結果から得られたのは、道德学区の防災訓練の参加率よりも、柴田学区の参加率の方が有意に高いということであった。星崎学区については、地域リーダーおよび地域の防災リーダーの防災意識は極めて高く、防災訓練も頻繁に行われており、住民の参加率は 3 学区で最も高い。星崎学区は、内閣府の地区防災計画モデル地区に選ばれている地区である。防災訓練をただ実施しただけでは、住民の危険性認識の向上に必ずしもつながらないことが示唆される。

地域リーダー層を対象とした質的調査だけの時点では、脆弱性指標から見て、道德学区は柴田学区よりも脆弱性の度合いが低いと予想されたが、住民を対象とした量的調査の結果は、その逆であった。原因として、高齢化、防災訓練への参加者が高年齢女性層に固定化されていること等が推測される。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Takahashi, M., Muroi, K. and Tanaka, S. ,ads., International Comparative Study on Mega-earthquake Disasters: Collection of Papers Vol.1 .

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

(1) 名古屋市南区の 5 学区において平成 28 年度に行った調査の成果を、地元住民にフィードバックする。具体的には、5 月 21 日(日)に 5 学区のいずれかの小学校の体育館(指定避難所)において、災害 NPO(レスキュー・ストック・ヤード)、医療生協、地元の大同大学の協力を得て、調査結果報告のワークショップおよび避難所開設シミュレーションを行う。地元の反応を見ながら、小規模のワークショップを複数回行うことを予定している。この臨床社会学的介入の効果は、平成 30 年度に質問紙調査等によって測定する予定である。

(2) 平成 29 年度は、名古屋市南区の調査を継続するとともに、南海トラフ巨大地震によって被害が予想される地域から地方中核都市、および農漁村のいずれか(もしくは両方)を選定し、(1) 質的調査、(2) 南区で用いた調査票を基本にした調査票を用いた量的調査を行う。具体的な地域として想定しているのは、地方中核都市としては静岡県浜松市、農漁村地域としては南伊勢町である。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

黒田由彦(名古屋大学環境学研究科)
高橋誠(名古屋大学環境学研究科)
田中重好(名古屋大学環境学研究科)
黒田達朗(名古屋大学環境学研究科)
室井研二(名古屋大学環境学研究科)
鈴木康弘(名古屋大学減災連携研究センター)
堀和明(名古屋大学環境学研究科)
山岡耕春(名古屋大学環境学研究科・地震火山研究センター)
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター
電話 : 052-789-3034
e-mail :
URL : <http://www.seis.nagoya-u.ac.jp>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 黒田由彦
所属 : 名古屋大学大学院環境学研究科

図1 調査対象5学区



図1 調査対象5学区の位置

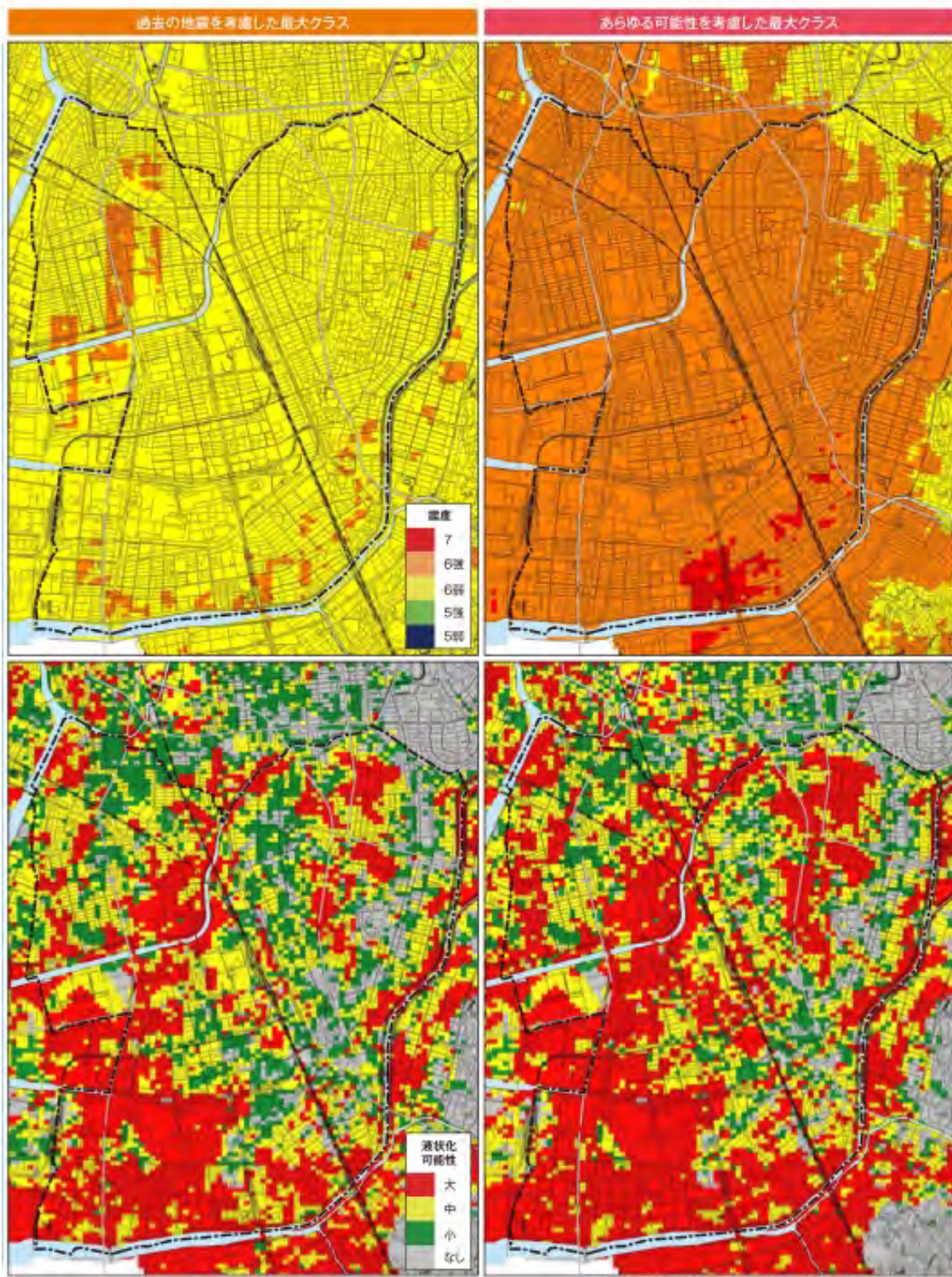


図2 南海トラフ巨大地震、名古屋市南区の予想震度

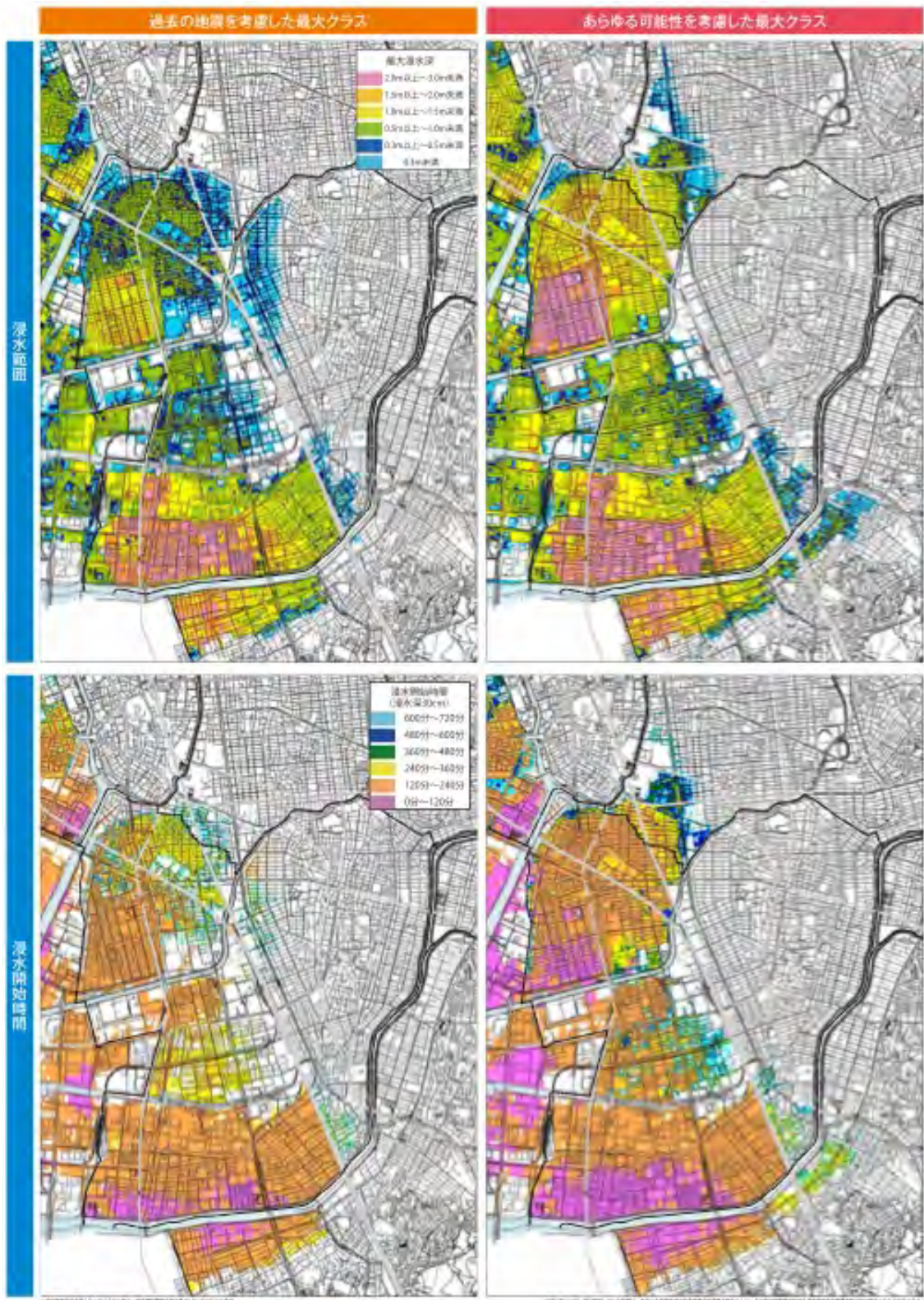


図3 南海トラフ巨大地震、名古屋市南区の津波予想浸水深度

図4 質的調査で判明した事実

	道徳	柴田	星崎
地区の性格	高齢化率27.1% 持ち家率62.7% 町内会加入率83.9% 外国人人口率1.9%	高齢化率22.9% 持ち家率37.7% 町内会加入率56.1% 外国人人口率3.6%	高齢化率 23.1% 持ち家率62.3% 町内会加入率73.4% 外国人人口率2.0%
土地利用	戦前に開発された住宅地	高度成長期に社宅+宅地開発、社宅の撤退で人口減少	東は旧村落、西は高度成長期後の宅地
災害対策	河川堤防+ハザードマップ+防災訓練（年4~5回）	河川堤防+ハザードマップ+防災訓練（年1回）	河川堤防+ハザードマップ+防災訓練（年11回）+まち歩き
社会的凝集性	凝集性高い 防災組織と密に連携	凝集性低い 防災組織とは連携していない	西は凝集性低いが高東は高い 防災組織と最も密に連携
防災意識・災害文化	伊勢湾台風経験者が地域住民リーダー	伊勢湾台風経験のない住民が多い	伊勢湾台風経験者が防災リーダー

図4 質的調査で判明した事実

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

精密制御震源システムの標準化と、ポアホール・海域への設置に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

上記の研究成果の概要において利用したアクロス震源装置の仕様を基本的に見直した第二世代のアクロス震源装置をすでに製作した。本研究では、[1] 第二世代アクロス震源の性能検証に加え、[2] 海底掘削孔内震源の開発を行う。

第二世代アクロス震源装置は、様々な発生力の要求に対応できる柔軟性、故障への対応等メンテナンス性、地盤への設置の迅速性の 3 点を向上させることをめざしている。本課題ではこの 3 点についての性能向上の検証を行い、最終的には比較的低い運用コスト(科研費の基盤 B 程度)で誰にでも利用できることをめざす。また海底掘削孔内に設置するための震源については、5 か年中に陸上のポアホール内で運用できる震源装置の開発をめざす。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

○平成 26 年度:[1] 第二世代震源装置については、前年度(平成 25 年度)中に試験運転実施場所を確定し、平成 26 年度に設置工事を行う。また本体および周囲に加速度計を設置し、本体の振動お

よび地盤との相互作用を解析する。[2]海底掘削孔内震源の開発については、前年度までに作成していたプロトタイプの動作試験を引き続き行う。

○平成 27 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を行い、耐久性について検証する。[2]海底掘削孔内震源については、平成 26 年度は、プロトタイプを改良し、ボアホールに設置する 1 つ手前の装置を製作する。直径の大型化および長さを 1 m 程度に長くすることにより、おもり落下による発生力を大きくする。

○平成 28 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を継続するとともに、耐久性の課題であるベアリングを確認し、場合によってはベアリングの設計変更を行う。[2]海底掘削孔内震源については、前年度の大型化装置の動作実験を行い問題点を洗い出すとともに改良を行う。

○平成 29 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を継続する。この年度以降は、実際の観測に用いることも想定する。[2]海底掘削孔内震源については、孔内に設置するための設計・製作を行う。

○平成 30 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を継続する。[2]海底掘削孔内震源の開発については、前年度までの試験結果を基に、孔内に設置して動作試験を実施する。

(8)平成 28 年度の成果の概要 :

平成 28 年度は、主に第 2 世代震源装置の性能の検証を行った。第 2 世代震源装置の実験において、2015 年 12 月に、震源装置の振動が異常に大きくなるという障害が発生した。地盤の振動を計測した結果、原因は震源の故障ではなく、震源基礎部分と地盤との間にせん断滑りが生じていることによることが判明した。せん断滑りは基礎と周辺地盤との間に隙間が生じているために生じたと推測し、その隙間を動的に塞ぐことができるように平成 27 年度末に石英砂を用いた補修作業を行った。作業としては、基礎周辺地盤を掘削し石英砂を充填した。その対策の結果を検証するために、平成 27 年度末に振動測定実験を行った。

平成 28 年度にはその解析を行った。振動測定は、震源装置の基礎上の 3 箇所に加速度計を設置し、基礎の剛体運動を計算できるようにしたものである。計測は、震源装置設置直後、振動増大後、補修作業後に実施し、それらの比較をした。比較した結果、並進成分(図 1)については、各振動数において障害発生後も上下方向の剛体並進成分には変化がない事が確認できたものの、水平加振方向については並進成分が大きくなった。また、地盤補修後 1 割程度の減少はあるものの補修の十分な効果が認められないことがあきらかになった。また剛体回転成分(図 2)については、障害発生後全成分で増加が見られ、補修後も 1 割程度の減少があったものの補修の十分な効果は認められなかった。

平成 28 年度中(3 月)に、あらたな方法による基礎の補強を行い、効果の検証のための実験を行う予定をしている。

(9)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10)平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度は、第 2 世代震源のアクロスに関しては、基礎補修後の特性確認試験と解析を行うとともに、九州大学があらたに導入する同型装置の高周波型との比較試験を行う。また落下型震源については、稼働試験を継続する。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名 :

名古屋大学環境学研究科 山岡耕春、渡辺俊樹、前田裕太

名古屋大学全学技術センター

他機関との共同研究の有無 : 有

海洋研究開発機構(荒木英一郎)・静岡大学理学部(生田領野)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/>

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山岡 耕春

所属：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター



図1：新型アクロス震源装置

テストをしている震源装置。図2および図3の座標軸を示した。

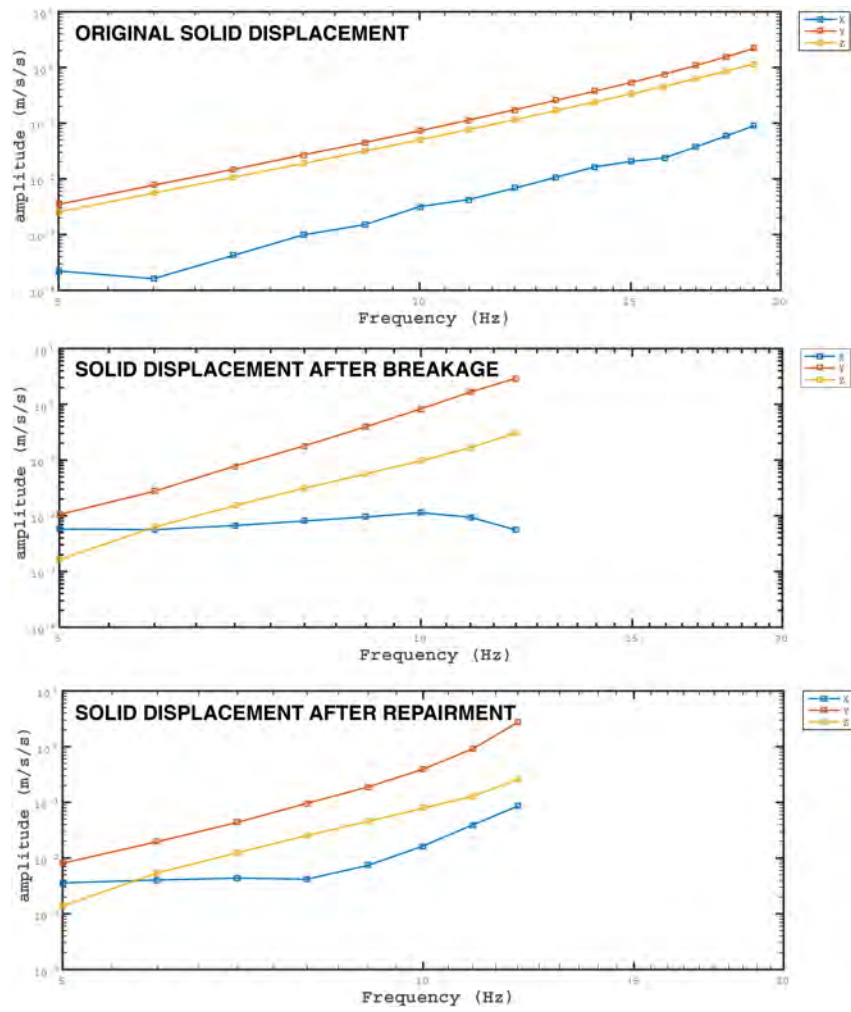


図2 基礎の剛体変位

震源装置設置直後(上)、障害発生後(中)、基礎補修作業後(下)における基礎の剛体変位特性。

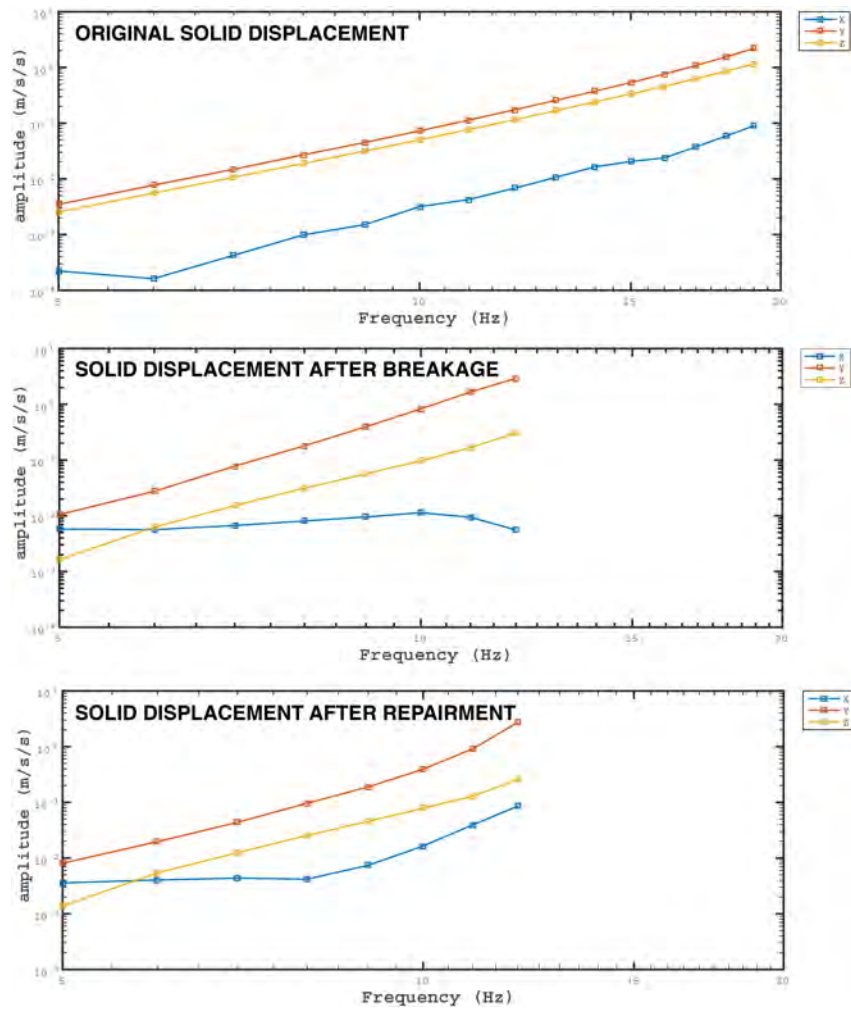


図3：基礎の剛体回転

震源装置設置直後（上）、障害発生後（中）、基礎補修作業後（下）における基礎の剛体回転特性。

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山災害情報およびその伝達方法のあり方

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

御嶽山は、1979 年の中規模な噴火をはじめ、1991 年、2007 年にもごく小規模ながら噴火活動があり、「噴火活動を続けている」火山である。また、2014 年の 9 月 11 日からは地震活動がやや活発化していた。ところが、これらの情報が一般向けに十分に浸透しておらず、2014 年 9 月 27 日の噴火に多くの観光客等が巻き込まれた。情報が浸透していなかった一因は、情報の受け手側（今回の噴火では観光客等）にとって有用な形で伝わっていなかったことにある。特に、半月前の地震活動の活発化の情報を手にしていた我々は、この情報が一般に行き渡っておらず、災害を拡大させたという事実から目を背けてはならない。そこで、本研究課題では、地域住民、観光客といった情報の受け手や、自治体職員等の情報伝達の担い手にとって有用な災害情報の内容や伝達方法のあり方について検討・提案を試みる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究課題では、災害情報の受け手の視点に立って以下の項目を実施する：

1) 火山災害情報のあり方についてのアンケート

御嶽山の岐阜県側（高山市）・長野県側（大滝村等）において、住民を対象にアンケートを実施する。質問内容は、低頻度の自然災害である火山災害の発生リスクに対する意識（他の自然災害との比較を含む）、各情報源から出される情報への信頼度、有用な情報源等とする。また、近年噴火した新燃岳周辺住民に対しても同様のアンケートを実施する。3 地域における一連のアンケートを 3 ヶ年で実施し、情報の受け手にとって有用と感じる災害情報について、同一火山における火山との物理的距離や距離感の違い、異なる火山間での回答の違いを整理し、最終年度に火山災害情報およびその伝達方法のあり方を提案する。

2) 地域向けワークショップ

アンケートを実施した各地域において、アンケートの集計・分析が終わった時点でその結果をふまえたワークショップを実施し、火山災害そのものや、災害情報の活用方法等を主として一般住民に伝える。火山においては山岳ガイドが観光客等への災害情報伝達の重要な担い手になりうると考え、これらの方々にも参加を促す。

3) 受け手に有用な情報発信の試行

上記1)および2)の結果をふまえて、最終年度に受け手に有用な火山災害情報およびその伝達方法のあり方を提案するとともに、火山災害情報の発信を試行する。特に、観光客等の情報の受け手側が情報源にアクセスせずとも必要な情報が得られるよう、アナログ情報発信手段である情報ボードの試作を検討する。

(8) 平成28年度の成果の概要:

1) 昨年度に下呂市小坂町にて実施したものと同様の火山災害情報のあり方についての住民アンケートを長野県側で実施する計画で準備を進めていたが、諸般の事情により今年度の実施は見送ることになった。

また、アンケートに対する異なる火山間での回答の違いを整理するため、口之永良部島でのアンケート実施に向けた準備のため、復興状況も含めた現地視察を行う(3月実施予定)。

2) 昨年度に火山災害情報のあり方についての住民向けアンケートを実施した下呂市小坂町において、地区防災計画の策定を主な目的とした住民ワークショップを開催した。主な参加者は区長、組長、自主防災組織の関係者および行政関係者である。ワークショップは平成28年11月から平成29年3月まで実施する(予定である)。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

(10) 平成29年度実施計画の概要:

同一火山における火山との物理的距離や距離感の違いを明らかにするため、平成27年度に下呂市小坂町にて実施したものと同様の火山災害情報のあり方についての住民アンケートを状況が許せば長野県側で実施する。また、異なる火山間での回答の違いを明らかにするため、平成28年度末の視察状況をふまえて口之永良部島でアンケートを実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター 田所敬一
名古屋大学減災連携研究センター 阪本真由美
他機関との共同研究の有無: 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター
電話: 052-789-3046
e-mail:
URL:

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 田所敬一
所属: 名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震サイクルシミュレーションの高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

速度状態依存の摩擦 (RSF) 則に基づく地震サイクルシミュレーションにより、過去の地震発生履歴の再現がなされ、地震発生予測に繋げようとする研究が進んできた。しかしながら、現行の地震サイクルシミュレーションの多くは、主として計算上の制約から、

1) 媒質の単純化：均質半無限弾性媒質を仮定

2) 動的破壊過程の単純化：準動的地震サイクルシミュレーション

といった現実とは異なる単純化が行われている。本研究では、こういった単純化に 対する地震サイクルシミュレーションの高度化に関して以下の研究課題を扱う。

本研究課題は 2 次元モデルを用いる基礎的研究であり、1) と 2) を扱う。これにはスペクトル有限要素法 (SEM) を用いる。公開されている動的破壊コード SEM2DPACK(Ampuero,2002) を元に、地震間における準動的過程を実現するようにコードを改良し、速度状態依存摩擦則に従う動的・準動的地震サイクルシミュレーションコードの開発を行なう。これにより、1) と 2) の問題を克服し、沈み込み帯に特有の不均質弾性媒質が動的破壊過程を含む地震サイクルに及ぼす影響の評価を行う。

また、地震サイクルシミュレーションの高度化として、他の課題 (1803) で開発予定のデータ同化手法を用いた摩擦パラメータの推定における準動的地震サイクルシミュレーションの高速化、および周期的外力の地震サイクルに及ぼす影響の評価を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

H26年度においては、ABAQUS 粘弾性地震サイクル1次モデル(簡単な不均質構造で接触解析に重点をおいて開発)を構築する。

- ・重力の与え方の検討
- ・沈み込むプレートの屈曲を扱うプレート相対運動の与え方の検討

H27年度においては、ABAQUS 粘弾性地震サイクル2次モデル(実際の海底地形や弾性・粘弾性構造)を構築し、動的破壊過程組み込みの検討を行う。

H28年度においては、傾斜断層における、動的破壊過程を含む、SEM 2次元地震サイクルコードを開発する。また、準動的地震サイクルシミュレーションにおけるルンゲ・クッタ法に時間発展解法の改良を試みる。更に、1自由度固着・すべり振動子の周期的外力への応答評価を行う。

H29年度においては、上記項目を継続し、において論文化に着手する。

H30年度においては、上記項目についてのまとめを行う。

(8)平成28年度の成果の概要:

地震サイクルシミュレーションの高度化を目指して以下の取り組みを行った。ただし、断層のすべりをマスタースレーブ法で扱う ABAQUS を用いた粘弾性媒質中での地震サイクルコードの開発は昨年度の報告で述べたように、現状では困難が多く、開発を諦めている。

1)スペクトル要素法(SEM)による2次元動的・準動的地震サイクルシミュレーションコードの開発

昨年度報告したように、動的破壊シミュレーションコード SEM2DPACK (Ampuero, 2002) を元に、地震間における準動的過程を実現するようにコードを改良し、速度状態依存摩擦則に従う動的・準動的地震サイクルシミュレーションコードの開発を行なっている。これまで、傾斜断層での動的破壊、全無限媒質および半無限垂直断層での動的破壊過程を含む地震サイクル(EQC)シミュレーションコードを開発してきた。現在は沈み込み帯への適用を考え、傾斜断層モデルでの EQC シミュレーションに取り組んでいるが、残念ながら下記のようにまだ問題点が解決できていない。

速度状態依存摩擦則に従い、断層面上の相対的すべり(スリップ)やすべり速度は計算しているが、少なくとも2回繰り返す収束計算を行っている。しかしながら、最初の初期条件のためすべり速度が不安定になる早い段階で、地表面近傍においてすべり速度の加速が現れ、準動的と動的計算を繰り返す状態が出現している。

この対策として、以下の点を考えた。断層面上の速度分配の問題である。全無限や半無限でも垂直断層の場合、断層両側での速度分配を1:1としてきたが、傾斜断層の場合地表面の影響では分配が異なる。そこで上盤側と下盤側でつりあいの式を解き、断層に沿った方向の変位を計算し分配して、収束計算を行っている。境界要素法の場合は問題とならないが、断層法線方向には変位の不連続は無く連続であるが変位そのものはあり、SEMではこれを解く必要がある。断層面上盤・下盤側の節点(スプリットノード)の重心運動の計算を行うアルゴリズムに問題があり、更なる検討が必要であると分かり、アルゴリズムの更なる改良が必要である。

2)準動的地震サイクル計算における数値積分法の検討

大規模地震や多くのパッチを含む地震サイクル(EQC)計算、およびプレート境界における摩擦パラメータとすべり発展を推定・予測するデータ同化において、準動的EQC計算の高速化が必須である。我々は、これまで階層化行列法を適用して、すべり応答関数とすべり(速度)の行列ベクトル積の高速化・省メモリ化を図ってきた。本年度は、微分方程式の解法の問題を検討した。

準動的EQCシミュレーションでは、準動的運動方程式と速度状態依存の摩擦則を連立させて、プレート境界におけるすべりの時空間発展を追っているが、その微分方程式系の積分には時間刻み可変の4/5次埋め込み型ルンゲ・クッタ法(rkqs)(Press et al.2版,1992:2版)が、これまで多くの研究で

用いられてきた。ところが、3版(2007)では、Dorman-Prince(1980,1981)による5次埋め込み型RKであるDOPRI5, および8次のDOP853(Hairer et al., 1993)といった高次の埋め込み型RKが紹介されている。一方、例えば、Noda and Lapusta(NL2010)では、動的でTP(thermal Pressurization)過程も含んだEQCを扱っているが、2次精度のexponential integrator(EI)法で時間発展させ、すべり速度はLambertのW(オメガ)関数を用いている(Noda et al., N2013 ;NL法と略)。

そこで、速度状態依存摩擦則に従うバネ-スライダ-固着すべり振動子の準動的数値計算にrkqs, DOPRI5, DPO853, NL法を用いて、繰り返し間隔が約112年で3万年間の計算を行い、そのパフォーマンスを見た(表2-1)。ここで、epsは時間刻みを決める計算精度, cpuは計算時間(秒), nok, accept, および nbad, rejectは、試した時間刻みで採用したおよび排除したステップ数を示す。NL法では、時間刻みは $V \cdot t/L$ (V :すべり速度, t :時間刻み, L :特徴的すべり距離)で制御しているが、地震間にはこの制御は適当でなく、 t の最大値を2通り試した場合を示している。高精度になるにつれ、DOP853の優位性が見て取れ、我々のEQC計算をこのアルゴリズムに変更した。NL法はこの問題で劣っているように思えるが、動的やTPを含むstiffnessの高い問題に対して開発された手法で、ここでの比較は適当でない恐れがあるが、数値計算分野では計算精度をもう少し上げた4次精度RKを用いたEI法も提案されているので検討する必要がある。

3) 粘弾性バネ-ダッシュポットでの固着すべり振動子の振る舞い

昨年度は、非線形科学分野で発展してきた同期理論の応用を考えて、まず序論として、地震発生を模した1自由度のバネ・スライダ-からなる固着すべり振動子への周期的外力の応答を調べた。底面に速度状態依存摩擦則に従う摩擦力が働くブロックにバネを付けローディング速度 V_{pl} で引っ張る系に周期的外力が加わる状態を考えた。ゆっくり地震(SSE)や繰り返し地震、および地震活動には卓越した活動周期が存在すると報告されており、地震サイクルシミュレーションの高度化の一つとして、こういった地球・海洋潮汐などの周期的外力および単独の繰り返し間隔を持つアスペリティの相互作用より生じる同期現象として、地震サイクル計算に組み込むことを考える基礎としてこの研究を開始した。その結果、地震サイクル中の応力降下量の1/10なしは1/100以上の振幅を持つ周期外力を加えると、 $m:n$ 同期といわれる現象が現れた。すなわち、周期外力の周期(周波数)を $T_e(f_e)$ とすると、外力が無い時の繰り返し間隔(周波数)である $T_o(f_o)$ からずれた繰り返し間隔(周波数)である $T(f)$ で同期するとき、 $f_e:f(=T:T_e)=m:n$ (ただし m, n は互いに素な整数)という間稀を満たしている。非同期の場合は非常に複雑な繰り返し間隔の乱れを示し、これは地震活動がある間隔を持つがばらついているのを説明できる可能性がある。この解析は現在も進行中である。

今年度は、図3-1のように、弾性バネを標準線形固体(三要素固体)と呼ばれる、バネ(弾性定数 k_1)とマックスウェル粘弾性要素(バネ(弾性定数 k_2)とダッシュポット(粘性係数 η)が直列したもの)を並列に壓げたものに、置き換えて、 $k_1=k_2$ としダッシュポットの粘性係数 η を変えて、マックスウェル緩和時間($T_M=\eta/k_2$)の固着すべり振動子の繰り返し間隔(T_r)への影響を調べた。図3-2は、横軸に $\eta/k_2(=T_M)$ を、縦軸に T_r をとり描いた図である。以前の実験の弾性バネ定数を k とすると、 $k_1=k_2=k/2$ とし、他のパラメータは、繰り返し間隔が111.95年となる弾性の場合と同一のものをを用いている。この数値実験は既にMitsui and Hirahara(2001)で調べられ、ある T_M より小さい場合は T が二つに分岐するbifurcationが起きると報告しているが、今回は確認できなかった。彼らは慣性項を含んでいるのに対し、本報告では準動的取り扱いをしている点が異なっているが、原因は今のところ不明である。ただ、分岐した下のほうの T_r が T_M とともに減少していくのは同じであると確認できた。また、新しい現象として、 T_M とともに T_r が単調に減少するのではなく、この場合 T_r は T_M が1-5年で最少となり、それより小さい T_M では T_r が増大する現象が見られた。この原因やその地震サイクルへの影響評価については今後検討を要する。

また、粘弾性媒質での地震サイクル計算における応力評価で履歴積分を用いる代わりに、波動伝播の減衰計算で用いられている(例えば、Moczo and Kristick, 2005)、メモリ変数(非弾性変数)を用い

る方法を開発中であるが、このメモリ変数が簡単な図 3-1 の場合のダッシュポットの変位に当たることを確認した。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
国内学会・シンポジウム等における発表
平原和朗, 固着すべり振動子の周期外力への応答(2), 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS27-18, 2016.
平原和朗, 準動的地震サイクル計算における数値積分法について, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, S08-18, 2016.
- (10) 平成 29 年度実施計画の概要 :
SEM 2 次元動的・準動的地震サイクルコードの開発を継続する。また粘弾性バネの場合の周期的外力への応答を調べ男性の場合との比較を行い, また粘弾性媒質中での震サイクルシミュレーション法の開発を行なう。
- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :
京都大学大学院理学研究科 : 平原和朗・宮崎真一
他機関との共同研究の有無 : 有
京都大学防災研究所 : 西村卓也
東京大学地震研究所 : 亀 伸樹
東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター : 太田雄策
- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名 : 京都大学大学院理学研究科
電話 : 075-753-3946
e-mail : hrahara@kugi,kyoto-u.ac.jp
URL :
- (13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者
氏名 : 平原和朗
所属 : 京都大学大学院理学研究科

	rkck			dopri5			dop853		
eps	cpu	nok	nbad	cpu	accept	reject	cpu	accept	reject
1.0d-05	0.086986	38171	26748	0.088986	58410	21974	0.086986	30266	13937
1.0d-06	0.123981	62940	34027	0.135978	88686	33229	0.107983	40606	14687
1.0d-07	0.180973	102065	45223	0.170974	133225	16309	0.141978	53858	19294
1.0d-08	0.276957	170518	62870	0.239963	207986	493	0.182973	69927	24117
1.0d-09	0.9508551	993140	287	0.378942	330884	469	0.227965	89779	26936
1.0d-10	9.1356106	9675102	3	0.600909	524965	314	0.280958	118748	23930

NL法 $\Delta t_{max}=0.2$ yr			NL法 $\Delta t_{max}=5$ yr for $V < V_{pl}$		
$V \Delta t/L$	CPU	Step No.	$V \Delta t/L$	CPU	Step No.
1.0d00	0.184971	185160	1.0d00	0.04199	41586
1.0d-01	0.519916	517540	1.0d-01	0.38294	378281
1.0d-02	3.8374159	3870186	1.0d-02	3.71743	3748750

表 2 - 1
各手法における固着すべり振動子による地震サイクル計算の比較

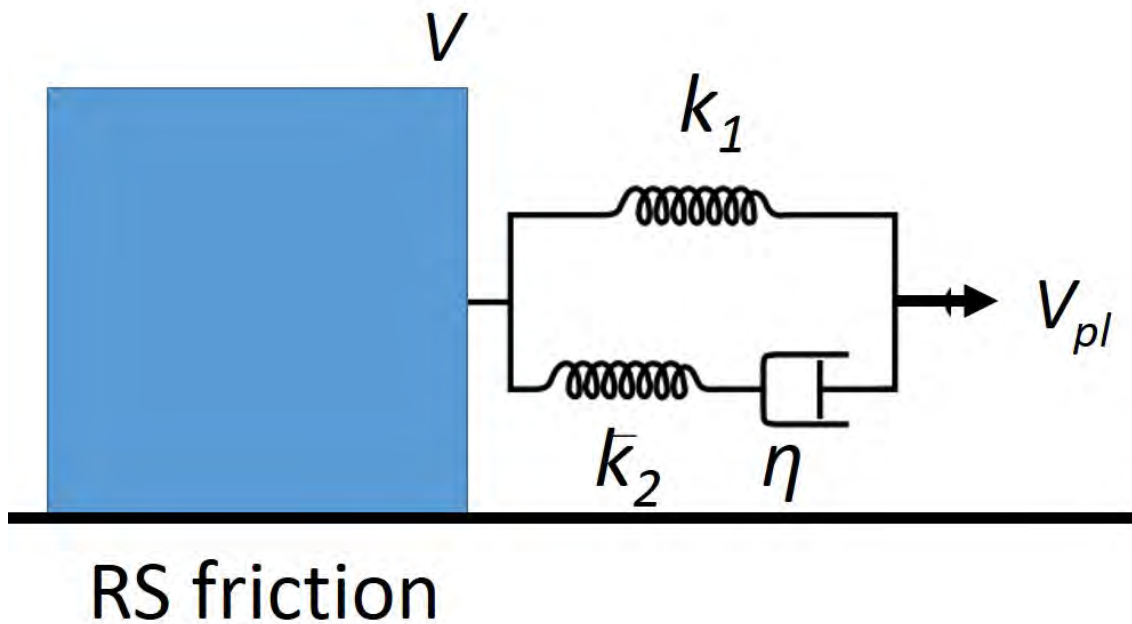


図 3 - 1
底面に速度状態依存摩擦則 (RSF) が働く三要素固体要素 - スライダを速度 V_{pl} で引っ張り、固着・すべりを引き起こす数値実験の図。

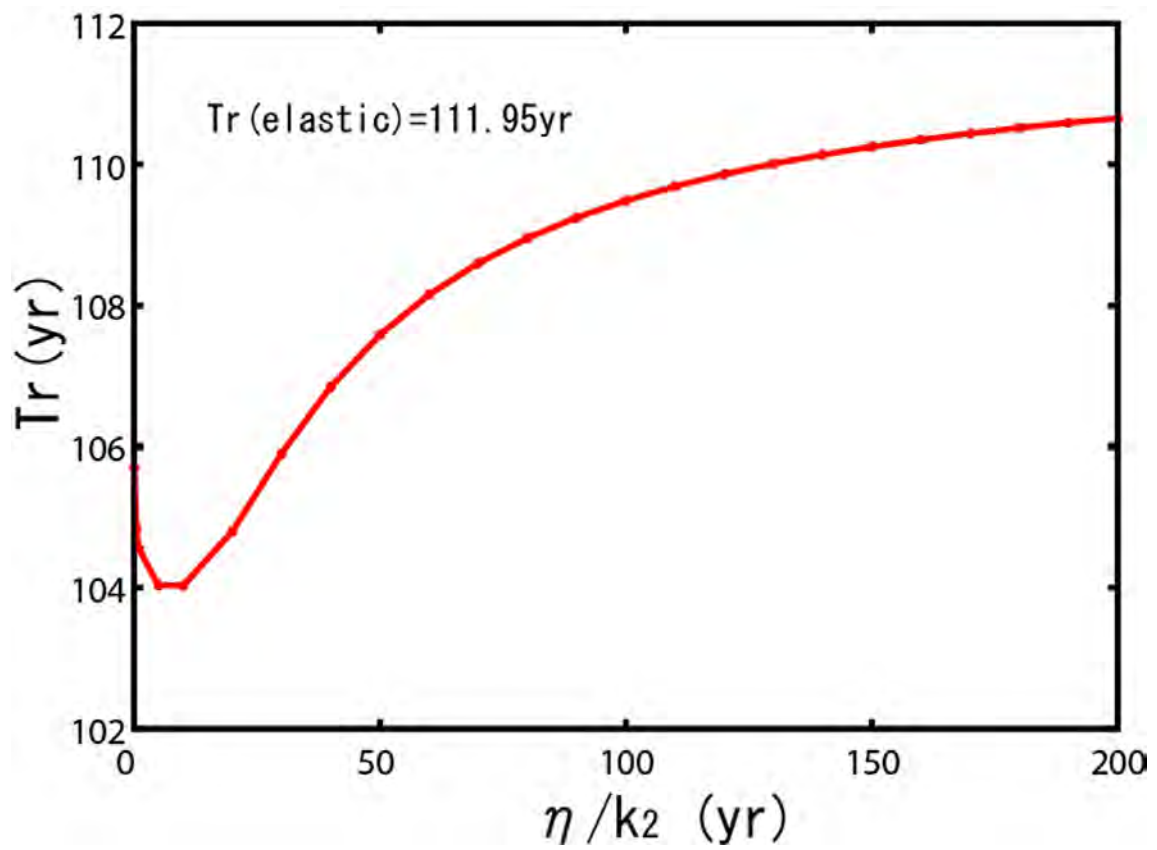


図 3 - 2

弾性バネ (弾性定数 k) の場合に $Tr(=111.95$ 年) となる固着すべり振動子のバネを三要素固体に変え (図 3-1 : $k_1=k_2=k/2$) , η/k_2 を横軸に、縦軸に計算された来り返し間隔 (Tr) を示した図

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題(または観測項目)名：

水蒸気噴火後の火山活動推移予測のための総合的研究 - 御嶽・口永良部・阿蘇 -

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

各火山において地震観測、測地観測、地磁気観測、火山ガス測定を実施し、水蒸気噴火後の過程で発生するさまざまな現象を捉える。そして、これらの観測結果を比較することにより、水蒸気噴火後の活動推移予測の精度を高める。また、水蒸気噴火に至る過程で発生した事象から共通するものを抽出し、水蒸気噴火準備過程のモデルを構築するための基礎材料とする。

阿蘇火山では噴火中でも比較的安全に火口に接近可能であるという地の利を生かし、火口極近傍での電磁気観測や地震観測を実施し、他の火山における遠方での観測手法の有効性を検証するためのテストフィールドとしても活用する。また、同火山は他の二火山に比して水蒸気噴火の頻度が高いことから、火口周辺での地質調査により歴史時代を中心とした噴火発生履歴を明らかにすることで、水蒸気噴火発生場の時間変化を考察し、他二火山の活動度評価に資する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

御嶽火山

2014 年御嶽山の噴火では約 1ヶ月前から地震活動の活発化が見られ、南西山麓の約 20km の水準路線では、噴火時期を含む 2007 年 4 月 - 2014 年 10 月の期間に最大 14? の山頂方向の沈降する地殻変動が観測された。これらの変動を精査するとともに、南西山麓における水準測量や GPS 観測により上下変

動および水平変動を長期にわたり観測する。また、定常観測点における地震観測、傾斜観測を実施する。一方、有人機ヘリによる御嶽山の空中磁気測量を実施し、火山体浅部の熱状態の変化による磁気構造変化を抽出する。また無人機を用いた多成分ガス濃度観測により火山性流体中へのマグマの関与の度合いの時間変化を調べる。

口永良部島火山

2014年の噴火に至る前兆過程で発生した地震、地盤変動、磁力変化、地熱変化などの変化を精査し、前兆過程を細分化し、特に、噴気活動が強くなった2008年以降の地震活動と地盤変動の特性変化の抽出を行なう。また、今後のマグマ性噴火への移行に先行する地盤変動、二酸化硫黄放出量の変化、全磁力変化などをとらえるための観測を実施し、深部から浅部へのマグマ移動の検出を試みる。

阿蘇火山

中岳火口での全磁力観測点をテレメータ化し、地磁気変化検出能力の向上をはかり、マグマ移動の検出を試みる。また、TDM法に基づくACTIVEシステムを用い、高時間分解能の比抵抗モニタリングを行う。一方、ACTIVEの観測に合わせ、火口の西部および北部における短周期地震アレイあるいは火口近傍域における稠密広帯域地震観測を行いアレイ解析による微動の発生源推定をおこなうほか、散乱波解析などによりクラックなどの火道システムにおける浅部地震波速度構造の時間的・空間的变化を抽出する。また、DOASなどを用いた火山ガス観測も随時おこなう。また、中岳周辺域においてテフラ層序に関する調査を行ない、歴史時代を中心とした完新世の水蒸気噴火発生履歴を解明する。

年次進行を以下に示す。

H26年度

- ・リアルタイム空振観測網の構築、ACTIVEソース、レシーバー点の設置（阿蘇）

H27年度

- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、比抵抗調査データの再解析、空中磁気測量、ガス調査（御嶽）
- ・空振アレイ整備、磁力計整備、ACTIVE観測、稠密広帯域地震観測、ガス観測、テフラサンプリングと年代測定（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

H28年度

- ・水準観測（主要路線）、GPS観測（全基線）、地震波形解析、空中磁気測量（御嶽）
- ・ACTIVE観測、地震アレイ観測、テフラサンプリングと年代測定（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、傾斜計設置、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

H29年度

- ・水準観測（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析（御嶽）
- ・ACTIVE観測、稠密広帯域地震観測、ガス観測、テフラサンプリングと年代測定（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、傾斜計観測、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

H30年度

- ・水準観測（主要路線）、GPS観測（全基線）、地震波形解析（御嶽）
- ・ACTIVE観測、稠密広帯域地震観測、ガス観測（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、傾斜計観測、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

（8）平成28年度の成果の概要：

2016年4月16日に発生した熊本地震本震により、京都大学火山研究センターが大きく被災した。そのため、本課題のうち阿蘇火山の計画遂行に遅れが生じている。そのほか、御嶽火山での水準測量が

4月から9月に順延されるなど、この地震の影響により、他火山での研究にも若干の支障がでている。

阿蘇火山中岳では2016年10月7日21時52分に噴火が発生し、その後8日01時46分に爆発的噴火が発生した。爆発的噴火では、噴煙が高度1.1万mにまで達し、熊本県・大分県・愛媛県・香川県の広範囲で降灰が確認されるなど、農業や観光に被害がでた。

口永良部島火山では2016年6月14日噴火警戒レベルが5（避難）から3（入山規制）に引下げられた。御嶽山では、目立った火山活動は無く、噴火警戒レベル2の状態が続いている。以下に各火山における成果の概要を述べる。

御嶽山

水準測量

水準観測では、2014年の御嶽噴火後、御嶽山東山麓の水準測量を噴火約半月後の10月15～17日、約半年後の2015年4月21～24日におこない2014年噴火および噴火準備過程の議論を行ってきた。本年度は2016年9月19日～22日に水準測量を実施した。前回、2015年4月21日～24日の測量と比較すると、約1年半の期間で、上松（BM34）の不動点に対して、御岳ロープウェイ・中の湯路線のBM505で約6mmの隆起・屋敷野路線のBM214で約3?の沈降の上下変動が検出された（図1-1、1-2、1-3）。

2014年噴火前の準備過程において屋敷野路線と木曾温泉路線は両方の路線とも隆起であり、また噴火後は両方の路線とも沈降になった（Murase et al.,2016）。2014年噴火時やその準備過程では屋敷野路線・木曾温泉路線の両路線まで及ぶような比較的広い変動があったと考えられる。それに対し、2015年4月～2016年9月の結果では、屋敷野路線はわずかな沈降を示しているのに対し、中の湯路線は隆起を示している。隆起を示した中の湯路線は前回2015年4月に設置した路線であり、今回始めて変動を得たため噴火前の結果は無いが、路線近傍の局所的な変化を捉えてしまっている可能性も考えられる。今後観測を継続することによって、今回の隆起が御嶽山地下のマグマの蓄積過程による変動を示しているかを見極める必要がある。

GPS 観測

本年度は、昨年度に実施した山麓付近でのGNSSキャンペーン観測に加え、新たに、山頂付近の9箇所で開催GNSS観測を実施した（図1-4）。御嶽山山頂付近のGNSS観測点は気象庁が設置している観測点であり、8月中旬から下旬にかけて再測した。GNSS観測に加え、山頂付近の4か所のGNSS観測点（ong1,ong2,ong3,onga）にて相対重力観測、及び田の原山荘にて絶対重力観測を実施した。

地殻変動モデル化

本年度は御嶽山周辺地域を有限要素（FE）法によりモデルを構築し、地形による応力の空間不均質分布について議論した。地形・モホ面を考慮した御嶽山周辺の50km程度の領域をFEモデルにより構築し、要素の物性値については地震波トモグラフィーによる V_p ・ V_s から不均質構造モデルを構築した。最小の要素のサイズは100m程度で、Pylithによって計算を実施した。モホ面以深は上部マントルとして粘性率は $2.3 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \text{s}$ を採用した。このFEモデルに初期応力として岩圧を設定し、GEONETの観測から境界条件として圧縮場を採用した。この状況下において、重力を考慮してFE解析を実施し、地下の不均質応力場を再現した（図1-5、1-6）。この結果、応力の不均質空間分布の剪断応力（標高0m地点）は地震の発生分布と整合的であり、御嶽山の南東部の地震活動が高い領域では地形の荷重に応答することから地殻強度が弱い可能性がある。また、御嶽山の南に位置する阿寺断層においては最大剪断応力が高い領域に位置していることから、阿寺断層に剪断応力を集中させる効果がある可能性がある。しかしながら、この解析では地震のメカニズム解との整合性は圧縮場の絶対応力を推定した上で議論する必要がある。

空中磁気

御嶽山では、当初有人ヘリコプターを用いた繰り返し空中磁気観測を行う予定であったが、調査の該当地域が飛行禁止区域に指定され調査実施が困難となったため小型無人機（ドローン）を用いた磁場観測システムの構築に事業内容を変更した。H27年度は小型無人機に搭載可能な小型且つ軽量の磁力計測

システムの開発を行う事とし、事業実施を(有)ネオサイエンス社へ委託した。これにより Bartington 社製 Mag566 磁場三成分センサを用いた計測システムを構築し、計4回のテスト観測から本システムがスタティックな磁気異常を観測するための精度を持つことが保証された。また実フィールドでのテスト観測として2016年3月25-28日に阿蘇米塚火山で試験飛行を行った。そして、2016年8月にも阿蘇米塚火山周辺で空中磁気観測を行った(図1-7)。米塚火山では橋本他(2007)により詳細な全磁力異常の地上観測が実施されている。このデータに上方接続を施したものととの比較から本観測システムの精度の検証を行った。その結果両者は非常に調和的な結果となり(図1-8)、本システムでスタティックな磁化構造解析を目的とした磁場観測に対し十分な精度のデータ取得が可能である事が示された。

口永良部島

地震観測点の再設置、GNSS 観測点増設を行い、水準測量を繰り返した。また、二酸化硫黄ガスの放出量の観測を継続した。しかし、傾斜計の設置はできなかつたので29年度に延期した

2015年噴火後の火山活動の低下が確認できた。特に、水準測量において、火口側地盤の沈降が初めて確認でき、圧力源の収縮が地下深部に及び始めていることが推定できる(図2-1,2-2)。一方、地震活動と、火山ガス放出量から見ると2015年噴火直後に比べて、低下しているとはいえ、静穏化には至っておらず、依然として噴火発生の可能性があるレベルにある。

阿蘇火山

電磁気

2016年4月16日の熊本地震により火山研究センター本館の地磁気基準観測点が被災し、オーバーハウザー磁力計による全磁力連続観測及びフラックスゲート磁力計による3成分連続観測が一時停止した。しかし現在は、本館敷地内に新たにプロトン磁力計を設置し仮設の全磁力基準観測を実施しており、中岳火口の活動度モニタリングを行うための最低限の体制を維持している。火口周辺のプロトン磁力計による連続観測は火口北側のN1、西側のC1および南西のW1であるが、これらの観測点の地震による被害は軽微で、N1およびW1で衛星および携帯テレメータ、C1で現地収録により連続観測を継続していた。2015年9月、10月の水蒸気爆発以降、火口直下の温度低下を表す変化(第一火口北側で全磁力値減少、南側で増加)が見られ、活動度が低下したことが示唆されたが(図3-1)、2016年1月以降再度火口直下の温度上昇を示す変化が見られ、活動度がやや高まった状態が続いていることが示唆され、10月8日の噴火に至った。なおこの噴火により、火口周辺のすべてのプロトン磁力計が被災したが、W1での観測を再開している。

火山ガス

火山地域における二酸化炭素及び硫化水素の土壤拡散放出フラックスを測定するため、2016年1月8日に本堂観測所(火口から南西約1000m)にWestSystems社のcontinuous monitoring stationを設置した。フラックスデータは、気温、気圧、湿度、降雨量、風向・風速、土壤水分量および土壤温度のデータとともに携帯電話のデータ回線を介して1時間ごとに、東京にあるデータベースサーバーへ送られている。観測は熊本地震後も順調に行われており、4月16日未明の本震以降、二酸化炭素の土壤フラックスの上昇が見られ、その後も頻繁に上昇と下降を繰り返す変化が見られている(図3-2)。現在のところ、火山性の二酸化炭素放出の増加を示すものではなく、地震動により土壤の透過性があり、これまでより相対的に深いところの土壤ガスが放出しやすくなったためと考えられる。今後も、観測を継続するとともに、測定データをより詳細に解析していく予定である。

地震・地殻変動

2014年末から始まった噴火活動活発化の端緒であった、同年1月の火孔開口イベントでは、これに先立つ形で、2013年末から短周期連続微動振幅が顕著に増加し始めた。火口周辺の5観測点の上下動記録(5-10 Hzバンドパス)を用いて、ASL法による微動発生位置の推定を行った。その結果、クラック状火道から火口底直下へとつながる領域で発生していることが明らかとなった。火山性熱流体のフラックス増加によって、火道確立およびサイズ拡大の過程が生じたものと理解された。これまでの研究によって提唱されてきたマグマだまりから火口へとつながる通路、この最後の領域をイメージング

できたものと考えられる。

また、2016年4月16日の熊本地震による阿蘇火山の活動への影響を調べる目的で、阿蘇中岳第一火口の東400mの地点に広帯域地震観測点を設置した。また、熊本地震時の欠測のないMNT観測点のデータを解析し、火山性微動の活動変化を調べた。その結果、阿蘇山の火山性微動(卓越周波数3Hz以上)に関し、地震後の4月中旬から5月に振幅の増大が見られたが、2月の水蒸気噴火発生時に比べると、概ね小さな振幅で推移し、熊本地震の影響は大きくないことがわかった。また、長周期微動(周期約15秒)の振幅及び基本モード周期にも明瞭な時間変化はなく、熊本地震の影響は認められない(図3-3)。一方、地震後に数時間から数日間継続する連続的な微動(卓越周波数約2Hz)の活動があった。しかし、この微動は3月中旬にも発生しており、この微動活動が熊本地震の影響であると断定できる段階にはない。

空振観測

2014年末から始まった噴火活動では、0.4-0.8 Hz 近傍にピークを持ったモニタリング空振が連日発生した。この特異な空振は一連の噴火活動における特徴の一つとして挙げられる。地形・気象条件を考慮した空振波源推定の結果、この空振は、第一火口底に開口した141火孔から発生していることが確かめられた(図3-4,3-5)。空振発生と噴火表面現象との明瞭な対応性はとくに認められないことから、噴出する火山ガスや火山灰噴煙の流れに駆動された、火道内空間スケールで規定されるヘルムホルツ共鳴現象であると考えられる。卓越周波数の時間変化は火孔拡大および破砕面深度の変化で説明される。

地質

カルデラ内およびその東方域における降灰調査、火口周辺域における噴出物の観察を実施した。火口近傍では、火砕密度流による比高0.5~1m程度、幅数mのローブ状の堆積地形が認められ、最大1.5~2mの堆積物、3×2.2×1.5mの噴石など、堆積物量 4.5×10^5 トン程度と推定される。

降下火山灰(図3-6)の量は約 1.8×10^5 トンであり、火口周辺の堆積物と合わせると、10月7日~8日噴火による総噴出量は $6 \sim 6.5 \times 10^5$ トン程度である。

降下火山灰には2割程度の新鮮なガラス片が含まれ、その化学組成は1979年や1989~1990年、2014年11月~2015年9月の中岳火山灰中のガラスの組成とほぼ同じであった。

- (9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：日本大学、名古屋大学、九州大学、京都大学、東濃地震科学研究所、気象庁、精密水準測量による御嶽山における上下変動(2015年4月~2016年9月)、火山噴火予知連絡会会報、125 村瀬雅之、木股文昭、山中佳子、堀川信一郎、松廣健二郎、松島健、森濟、吉川慎、宮島力雄、井上寛之、内田和也、山本圭吾、大倉敬宏、中元真美、吉本昌弘、奥田隆、三島壮智、園田忠臣、小松信太郎、片野凱斗、池田啓二、柳澤宏彰、渡辺茂、中道治久(2016)精密水準測量によって検出された2014年御嶽山噴火前後の上下変動とその解釈(2006-2015)、日本地球惑星科学連合2016年大会予稿集 Geshi, N., Iguchi, M. and Shinohara, H., Phreatomagmatic eruptions of 2014 and 2015 in Kuchinoerabujima Volcano triggered by a shallow intrusion of magma, Journal of Natural Disaster Science, Volume 37, Number 2, 2016, pp67-78. Tanaka, H. L. and Iguchi, M., Numerical Simulation of Volcanic Ash Plume Dispersal from Kuchinoerabujima on 29 May 2015, Journal of Natural Disaster Science, Volume 37, Number 2, 2016, pp79-90. Matsuzawa, T. Matsumoto, T. and Tanada, T., Seismic inversion analysis of the 2014 and 2015 Kuchinoerabujima volcanic eruptions, using F-net broadband seismometers, Journal of Natural Disaster Science, Volume 37, Number 2, 2016, pp91-103. Sakamoto, M., Kuri, M., Iguchi, M., Maki, N., Ichiko, T., Sekiya, N. and Kobayashi, H., Disaster Governance in Disaster Management Planning? Analysis of the Evacuation Planning Process for Kuchinoerabujima Volcano Eruption?, Journal of Natural Disaster Science, Volume 37, Number 2, 2016, pp105-117.

- (10)平成29年度実施計画の概要：

29年度以降の予定

屋敷野路線(16?)、木曾温泉路線(7?)、御岳ロープウェイ路線(8?)と、新設した御岳ロープウェイ路線3.1?、屋敷野路線1.7?の再測量を4月に行い、噴火後見られている沈降、隆起が何を示しているのか検討するとともに、御嶽火山におけるマグマの蓄積過程を議論する。また、キャンペーンGNSS観測点の再測を行う予定である。

口永良部島では山頂付近に傾斜計2点を新設し、地震観測点の復旧をする。また、地震、GNSS、火山ガスの観測を継続することにより、2015年噴火後の火山活動の推移を把握する。

阿蘇火山でも従来からの観測を継続するとともに2014-2016年の噴火時のデータ解析を精力的におこなう。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

附属地球熱学研究施設火山研究センター: 大倉敬宏・宇津木充・横尾亮彦・鍵山恒臣

他機関との共同研究の有無: 有

名古屋大学大学院環境学研究科: 山中佳子・伊藤武男・寺川寿子・前田裕太

京都大学防災研究所: 中道治久・井口正人・味喜大介・山本圭吾・為栗健

北海道大学大学院理学研究院: 橋本武志・茂木透・中川光弘・森済

東京大学地震研究所: 小山崇夫・加藤愛太郎

東京工業大学火山流体研究センター: 野上健治・神田径・寺田暁彦

東北大学大学院理学研究科: 山本希

東京大学大学院理学系研究科: 森俊哉

九州大学大学院理学研究院: 松島健

日本大学文理学部: 村瀬雅之

熊本大学教育学部: 宮縁育夫

東濃地震科学研究所: 木股文昭

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

電話: 096-285-6260

e-mail:

URL: <http://www.aso.vgs.kyoto-u.ac.jp>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 大倉敬宏

所属: 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題(または観測項目)名：

実観測データに基づく断層面の摩擦パラメータと地殻活動の状態推定のためのデータ同化手法の構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大地震の発生予測へとつながる地震サイクルシミュレーションを行うにあたっては、摩擦構成則に現れる摩擦パラメータをどのように設定するかが重要である。観測データから摩擦パラメータを推定する手法としてはいくつか候補が考えられるが、データ同化の理論やアルゴリズムの実際の問題への適用可能性は、データとモデルの特性に強く依存する。そこで、複数のデータ同化アルゴリズムを用い、設定された物理モデルに対する各アルゴリズムの特性や適用上の問題点を調査するとともに、その結果に基づいてアルゴリズムの改良を行う。

第 1 の課題として、豊後水道や八重山地域のように繰り返し発生してきたスロースリップを対象に、速度・状態依存摩擦構成則に基づいて断層面上の摩擦パラメータおよびすべりの履歴を推定する手法を確立する。基礎となる手法としてアジョイント法とアンサンブルカルマンフィルタ・粒子フィルタ(特殊な例として SIS を含む)という 2 つのやや性質の異なるアプローチをとり、それぞれの手法の長所・短所を調査する。それに基づき、摩擦パラメータやすべりの履歴を推定する上で最適と考えられる手法を構築する。また、数値シミュレーションの分野で利用されている階層型行列(H-matrix)をデータ同化にも適用し、計算の高速化を図る。

第 2 の課題は、余効すべり域の摩擦パラメータ推定の問題である。余効すべりを扱う上では、観測データに含まれる複数のプロセスから余効すべりの成分のみを抽出し、摩擦パラメータの推定に用いることが肝要である。そこで本課題では、速度・状態依存摩擦構成則に従う余効すべりと、地震時のすべり及び余効すべりによる上部マントルの粘弾性応力緩和の双方を取り入れたプレート境界地震の余効変動の物理モデルを構築し、GPS データを用いてプレート境界の余効すべり域における摩擦パラメータや初期条件、上部マントルの粘性率を推定するためのデータ同化手法を開発する。複数のアルゴリズムを用いた結果に基づいてアルゴリズムの改良を行い、GPS データを同化し、余効すべり領域の摩擦パラメータと上部マントルの粘性率を推定する。

摩擦パラメータの妥当な値を決めるためには、推定の信頼性や空間分解能を一層高めることが不可欠である。そこで本課題の第3の課題として、地震活動をデータとした摩擦パラメータ推定を行う。解析の枠組みとしては、Dieterich(1994)による摩擦構成則に基づく地震活動度モデルを用い、実際の地震活動度に合うよう摩擦パラメータの推定を行う。計算アルゴリズムとしては、マルコフ連鎖モンテカルロ法が、まず考えられるが、主に計算時間の面でコストが高い。プレート境界のように、地震サイクルシミュレーションの精度向上に寄与出来るような広い領域を扱うには限界があるため、特にこの点を考慮した解析手法の確立を目指す。例えば、「ラプラス近似」など、統計科学で用いられる近似手法の適用を検討し、効率的なアルゴリズムの開発を行う。そして、比較的小さな解析領域を対象とした、人工的に生成したデータに基づく数値実験(いわゆる「双子実験」)から始め、地震サイクルシミュレーション等から得られる結果との整合性を踏まえつつ、実データへの適用を行う。その状況に応じ、パラメトリックモデルの導入なども検討し、最終的には、例えば、2011年東北地方太平洋沖地震の余震データを解析することで、三陸沖全体のような広い領域での解析を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

(平成26~28年度)

スロースリップおよび余効すべりの課題では、粒子フィルタ、アンサンブルカルマンフィルタ、マルコフ連鎖モンテカルロ法等の複数のデータ同化アルゴリズムの計算コードを作成する。初めに、これらのアルゴリズムを摩擦パラメータの空間分布が低解像度の比較的小規模なモデルに適用して数値実験を行い、アルゴリズムの特性や適用上の問題点を明らかにする。また、初期条件と摩擦パラメータを同時に推定する方法を数値実験により検討する。この結果を基にパラメータ推定が効率的に行えるようにアルゴリズムの改良を行い、改良されたアルゴリズムを実データに適用する。

地震活動データ同化の課題では、計算コストの軽減化、特に計算速度の短縮に重点を置いたアルゴリズム開発、比較的小さな領域を対象とした数値実験、例えば、2005年宮城県沖地震の余震データを用いるなどした、小領域における実データ解析を行う。

(平成29~30年度)

スロースリップおよび余効すべりの問題では、摩擦パラメータ空間分布が複雑になり、モデルが比較的大規模になった場合の同化アルゴリズムの性能を数値実験により検討する。これらの結果を基に、比較的大規模なモデルにも適用できるように同化アルゴリズムを改良する。改良されたアルゴリズムを実データに対して適用する。

地震活動データ同化の課題では、広い領域を扱うためのアルゴリズム拡張と、それに関連する数値実験、そして、2011年東北地方太平洋沖地震の余震データなど、広い領域に対する実データ解析を行う。

(8) 平成28年度の成果の概要:

1. スロースリップのデータ同化に用いる断層面すべり速度の推定

本課題のデータ同化では断層面のすべり速度をデータとして用いる予定である。今年度は、琉球海溝南西部、八重山諸島近傍でおよそ半年おきで繰り返し発生するスロースリップイベント(SSE)を捉えたGNSSデータを用いて、SSEのすべり速度の時空間変化を求めた。八重山諸島では国土地理院によるGNSS観測点8点に加えて、2010年以降SSE発生域直上付近を中心に京都大学で4点のGNSS観測を行っており(図1)より詳細なすべり速度の時空間変化が明らかになることが期待される。今年度は、2010年7月~2013年2月に観測されたGNSSデータに対し、Fukuda et al. (2008)で開発された時空間インバージョン手法を適用し、解析期間中に発生した全5回(以下ではEvent 1-5と呼ぶ)のSSEのすべり速度の時空間分布を推定した。Event 1のすべり速度の時空間分布を図2に示す。西表島の北西側の深さ40~60kmのプレート境界で、最大すべり速度1.0m/yrでおよそ1ヶ月程度すべりが継続していることが分かる。SSEの発生位置はHeki and Kataoka (2008)やNishimura (2014)で報告されている場所と調和的である。図2では与那国島直下にもすべりが推定されているが、与那国島にはGNSS観測点が1点しかないため十分な議論はできない。次に全解析期間にわたるモーメントレート

の時間変化を図3に示す。Event 3を除いた4回のイベントでは約1か月程度の期間にわたりで同様のすべり速度の時空間変化を示している一方で、Event 3は他のイベントに対しおよそ半分程度のモーメントレートで倍近い期間にわたり滑っていることが分かる。

2. 余効すべりに基づく摩擦パラメータと初期条件の同時推定手法の開発

測地的に観測される余効変動は、主に余効すべりとマンツルの粘弾性応力緩和による地殻変動の重ね合わせであると考えているため、余効すべり域の摩擦パラメータを推定するためには、これらの2つのプロセスを考慮したモデルを用いる必要がある。そこで今年度は、摩擦構成則に従う余効すべりと、地震時のすべり及び余効すべりによるマンツルの粘弾性応力緩和の双方を考慮した余効変動モデルを構築した。このモデルでは地震時の応力変化によって粘弾性緩和と余効すべりが駆動され、余効すべりの時間発展は速度・状態依存摩擦構成則(定常状態を仮定)に従うと仮定している。従ってこのモデルのパラメータは摩擦パラメータやマンツルの粘性率等であり、初期条件は地震時のすべり分布で決まる。これらのパラメータの推定手法について検討するために、このモデルを東北地方太平洋沖地震の余効変動に適用し、パラメータと初期条件が余効変動に与える影響について調査した。例として、図4に複数の異なる地震時すべり分布に対する地表の余効変動を示す。地震時のすべり分布によっては、モデルが観測された上下変動を説明できないことが分かる。また摩擦パラメータの推定値が仮定した地震時すべり分布により異なることが分かる。この結果は、余効変動の観測データから余効すべり域の摩擦パラメータを推定する際には、地震時のすべり分布も同時推定する必要があることを示す。

3. 地震活動データに基づく摩擦パラメータの深さ変化推定

本研究課題における計画の1つに、地震活動を元に摩擦パラメータ推定を行うための手法開発がある。地震サイクルシミュレーションにおいては、摩擦パラメータの空間分布をどう与えるかが重要であり、実際のプレート境界においてどのような分布となっているかを知る必要がある。最近は、測地データに基づいた空間分布推定の試み[例えば、Kano et al., GJI, 2015]が行われつつある。ただし、陸上の観測点から沖合の領域に対する推定は大きな誤差を伴うことが想定される。ここでは、こういった問題をカバーするために、地震活動をデータとして、摩擦パラメータの空間分布推定を行うための予備的な解析を試みた。

推定の概要は以下の通りである。応力変化と摩擦構成則から地震活動度を得るモデル[Dieterich, JGR, 1994]から期待される地震活動の空間分布が、実際に観測されたものと合うよう、摩擦構成則に含まれるパラメータ(即ち、摩擦パラメータ)と、必要な応力変化を引き起こす滑り分布を求める。滑り分布には、その空間変化が滑らかであるという拘束を課する。また、摩擦パラメータAにも空間変動を与えるが、現時点では問題を単純化するために、深さ(d[km])に対する線形依存性のみを考慮することとし、 $A = d + \dots$ として表す。この式中のパラメータ、と滑りの空間分布とを同時推定する。推定アルゴリズムには、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)を用いた。これにより、ベイズ推定の結果として一般に用いられるパラメータの事後分布からの多数サンプリングを得ることが出来る。

2005年宮城県沖地震へ適用した例を以下に示す。余震データとしては本震発生後1日までに発生したM2.0以上のものを用いた。まず、図5(a)に、推定された滑り分布(事後分布平均)を示す。比較のため、摩擦パラメータの深さ変動を考慮せず、解析領域全体で一定とした場合($\dots = 0$ に固定し、のみを推定した場合に相当)の推定結果を図5(b)に示してある。滑り分布については、摩擦パラメータの深さ変動を入れた場合と入れない場合とで、滑り量の大きさに違いはあるものの、大局的なパターンとしてはほぼ同一である。なお、得られた滑り分布は、測地あるいは地震波データに基づく滑りインバージョンの結果[例えば Yaginuma et al., 2006, EPS]と似通った特徴を示している。

図6に、深さに対する摩擦パラメータAの推定結果を示す。深さが増加するにつれ、Aの値が増加する様子が見て取れる。値そのもの(0.1 MPa程度)については、解析領域が異なるため単純比較が適切かどうか議論の余地はあるものの、Kano et al. [GJI, 2015]が十勝沖から釧路沖にかけて求めた0.1~0.3 MPaや、Fukuda et al. [JGR, 2009]がやはり十勝沖で求めた0.32 MPaに対し比較的整合的と言える。

また、モンテカルロ的な手法に基づく推定のため、尤度（周辺尤度）の正確な計算が困難であり、統計学的に見て厳密なモデル比較は出来ない。とはいえ、ごく単純にサンプリングして得られたパラメータから直接計算した対数尤度を比較すると、深さ依存を入れたモデルの方が 10 程度大きく（よく）なっている。このことから、「深さ依存アリ」の場合の方が、「ナシ」の場合に対して有意によりモデルとなっている可能性を示唆する。

また、深さが増えるにつれて $A (= a)$ が増加する傾向については、定性的には、深さに伴う実効法線応力の増加によるものと解釈することが出来る。ただし、これはあくまで予備的な解析であり、実際の A は水平方向（この場合は strike 方向）にも変化する可能性が大いにある。また、深さ依存性についても、現段階では線形式によるパラメトリックモデルを用いており、これにより推定にバイアスが生じている可能性もある。更に踏み込んだ定量的考察・解釈をするには、より詳細な A の空間分布やより柔軟な推定手法の開発が必要であり、これについては今後の課題とする。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

1. スロースリップのデータ同化による摩擦パラメータの推定

得られた推定結果を詳細に解析した上で、SSE 発生域浅部で報告されている低周波地震や超低周波地震との時空間関係を議論する。また昨年度までに開発したアジョイント法を適用することで SSE 発生域の摩擦特性の時空間分布の変化を調べる。

2. 余効すべりに基づく摩擦パラメータと初期条件の同時推定手法の開発

今年度開発したモデルについての検討をさらに進めるとともに、データ同化手法を用いたこのモデルのパラメータ推定手法の定式化に着手する。

3. 地震活動データに基づく摩擦パラメータの深さ変化推定

深さ依存だけでなく、水平方向の変動も考慮した地震活動から余効変動を推定する手法の開発・シミュレーションデータへの適用を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学大学院理学研究科：宮崎真一・平原和朗

他機関との共同研究の有無：有

京都大学防災研究所：西村卓也

東京大学地震研究所：福田淳一・長尾大道

海洋研究開発機構：堀高峰・日吉善久

常磐大学コミュニティ振興学部：岩田貴樹

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学大学院理学研究科

電話：075-753-3911

e-mail：miyazaki.shinichi.2m@kyoto-u.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宮崎真一

所属：京都大学大学院理学研究科

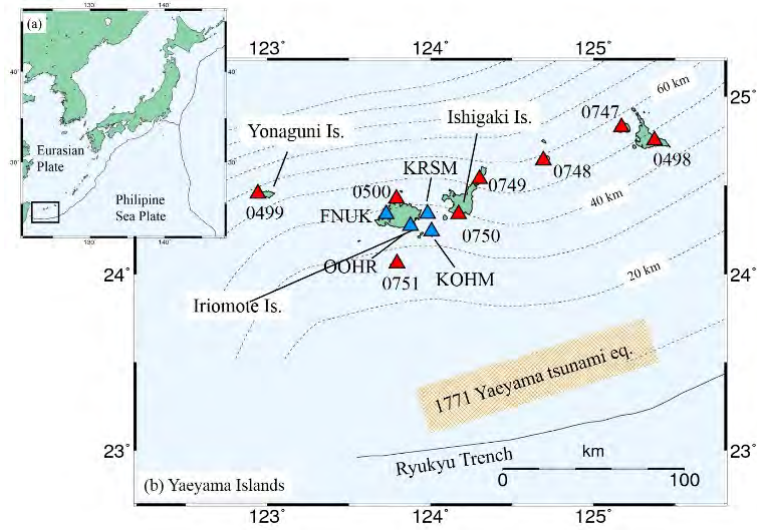


図 1

八重山諸島の観測点配置。赤三角印が国土地理院による GNSS 観測点、青三角印が京都大学による GNSS 観測点を示す。

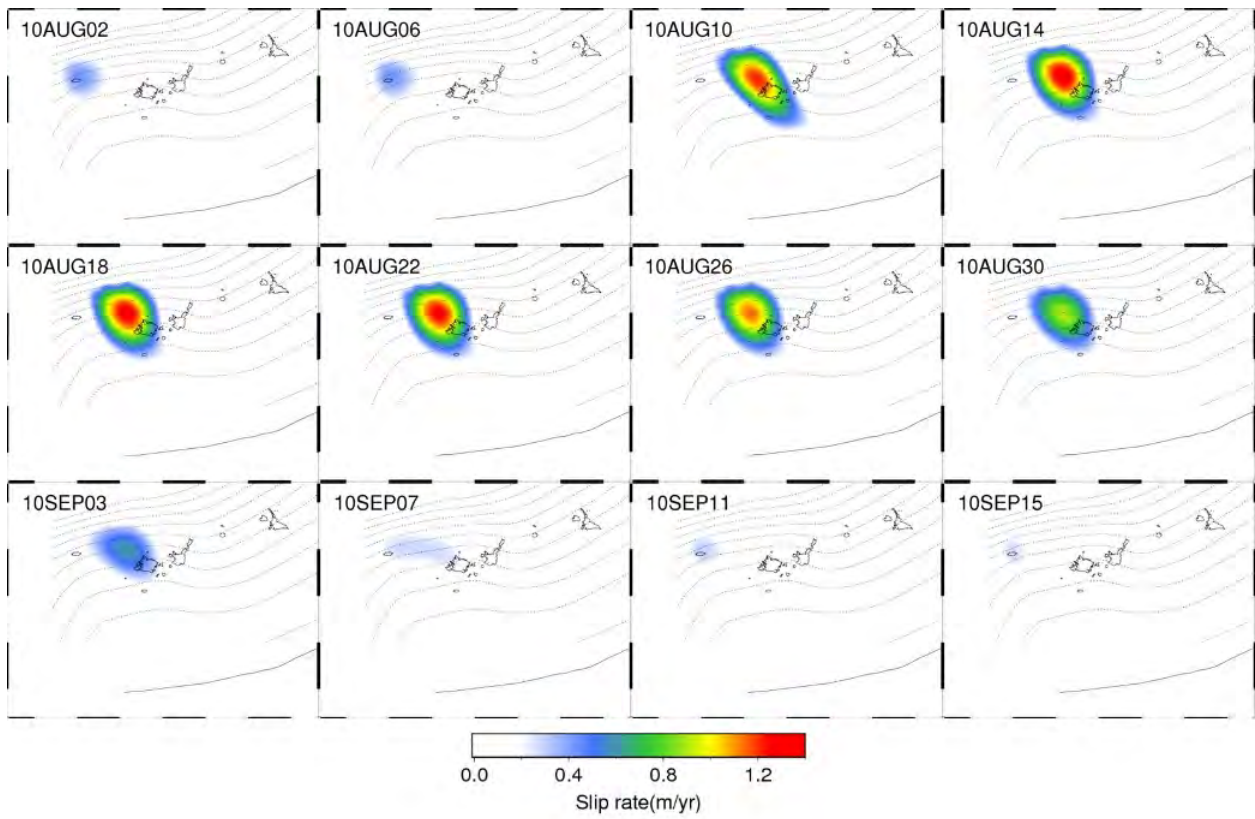


図 2

Event 1 のすべり速度の時空間変化。

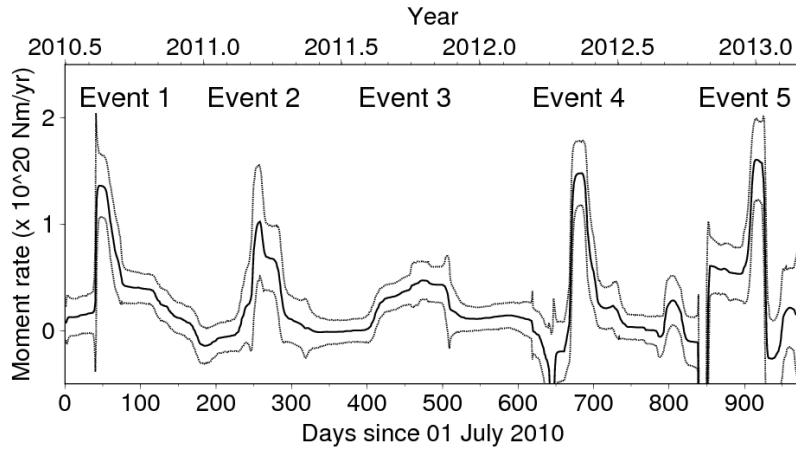


図 3
2010年6月から2013年2月にかけてのモーメントレート変化。

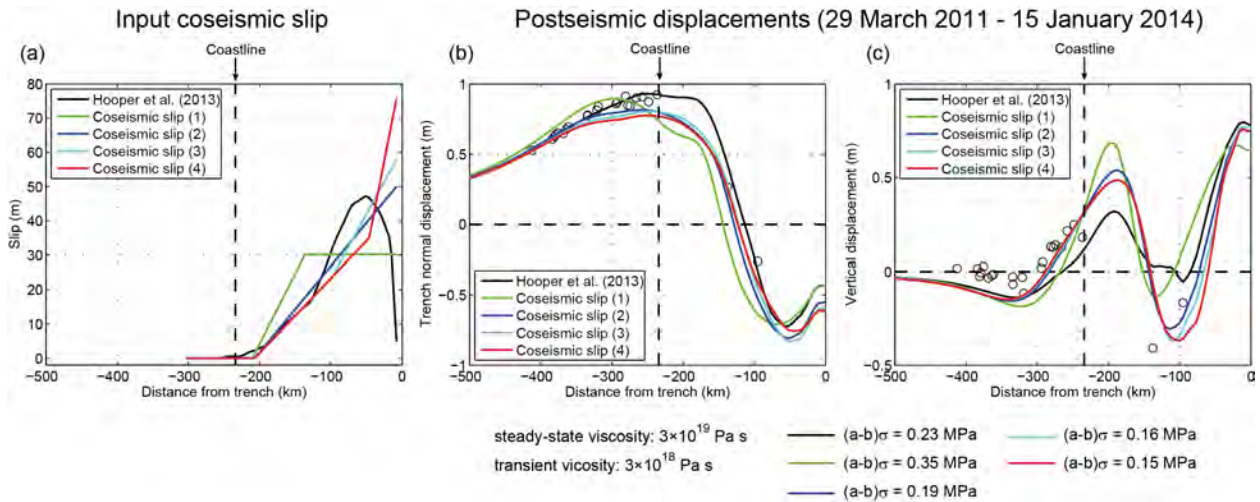


図 4
東北地方太平洋沖地震の余効変動モデルに対して、複数の異なる地震時すべり分布を初期条件として用いた場合の余効変動の計算値と観測データの比較。海溝軸に直交し、宮城沖を通る直線上における計算値と観測値を示す。(a) 入力として用いた地震時すべり分布。黒線は実データのインバージョン解析から推定されたすべり分布 (Hooper et al., 2013)。他のすべり分布は人工的に作成したものである。(b), (c) GEONET の GNSS データ及び GPS/Acoustic データ (Watanabe et al., 2014) による余効変動の観測値 (黒丸) 及び (a) に示された地震時すべり分布に対するモデル計算値 (実線、余効すべりと粘弾性緩和による変位の和)。(b), (c) はそれぞれ海溝軸に直交する方向の水平変位と上下変位を示す。

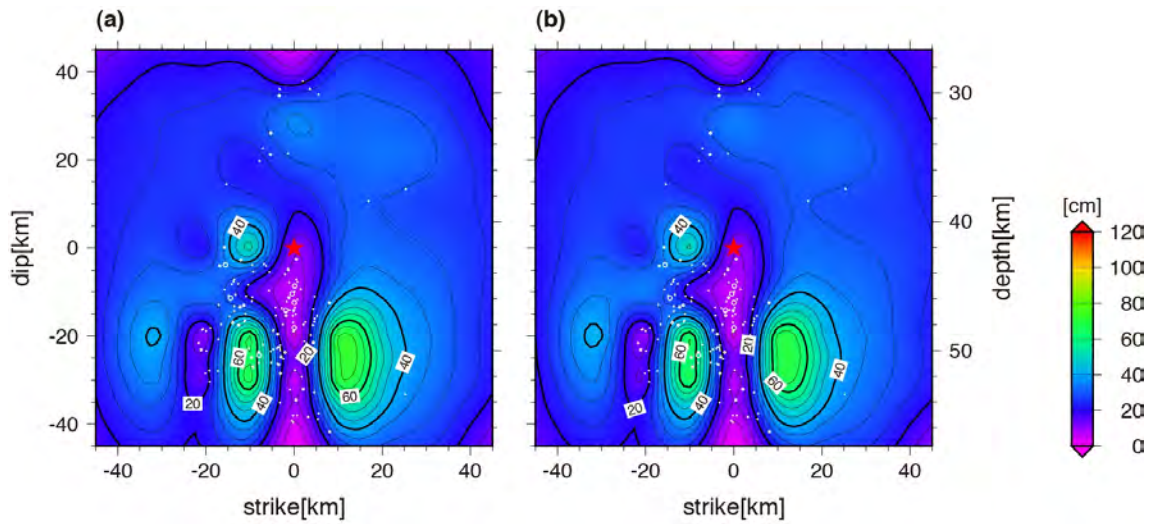


図 5

2005 年宮城県沖地震に対して、余震データから得られた滑り分布の事後分布平均。(a) 摩擦パラメータに深さ依存性を入れた場合、(b) 深さ依存性を入れなかった場合。白丸が解析に用いた余震の震央分布を、赤星が本震の震央（気象庁による）をそれぞれ表す。

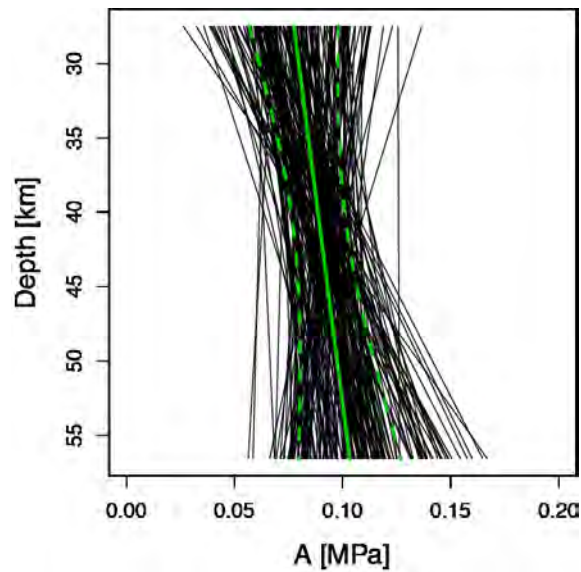


図 6

深さ依存を考慮したモデルにより得られた摩擦パラメータ A の推定結果。緑の実線及び点線が MCMC によって得られたモンテカルロサンプルから計算した摩擦パラメータの平均と標準誤差を表す。また、黒細線は MCMC サンプルからランダムに抽出した 200 サンプルの および の組から計算した摩擦パラメータの深さに対する変化を表す。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

史料の収集・翻刻・解析による過去の大地震および自然災害の調査

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

4. 研究を推進するための体制の整備

(3) 関連研究分野との連携の強化

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震史料の収集、翻刻、解析により、過去の地震および関連する現象についての情報を得る。特に南海トラフの巨大地震にともなう上下地殻変動の解明、および、地震の本震・余震の分離や震源域の確定、地震にともなう災害(強震動、地盤沈下、地すべり、洪水など)の理解を目指す。地震が一定の期間を置いて繰り返す性質があることから、過去の履歴をより詳細にとらえることで防災・減災に貢献する。また、史料には地震そのものだけでなく、これによる被害状況やそれへの対応などの情報も含まれており、研究計画のことばを借りれば「災害誘因」「災害素因」を合わせた情報を得ることにより、地域の防災・減災に貢献できると考えている。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

史料の収集および現地調査、史料の解読をおこない、得られたデータをもとに過去の地震の解析を実施する。斜面崩壊や洪水などの災害、地変など付随する諸現象にも着目する。対象は、史料の収集状況にも依存するが、たとえば南海トラフの巨大地震、内陸の大地震(特に斜面崩壊をともなったもの。たとえば、慶長伏見地震、寛文近江若狭、弘化善光寺地震、安政伊賀上野地震、寛政雲仙噴火、天明浅間噴火)などである。

あわせて、歴史学の専門家の協力を得て、合宿形式等の研究会(翻刻を主とした史料解析の実践)を開催するなどして、地震学のバックグラウンドをもちながら史料の解読もできる人材を育成する。

以上の研究については、5年間継続して実施するが、平成26年度~27年度は内陸地震、平成28年度~30年度は南海トラフの巨大地震について調査・解析をおこなうこととする。合宿形式の研究会については毎年実施する。

(8) 平成28年度の成果の概要 :

安政二年江戸地震について史料の翻刻を実施した。また、内陸地震や南海トラフの巨大地震についても、史料の収集および現地調査と史料の解読や再検討をおこない、得られたデータをもとに過去の地震の解析を実施した。また、幅広い異分野交流をとおして、新たな視点での歴史地震研究の姿を検討した。

市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」を公開した。このプロジェクトでは、当面のところ、東京大学地震研究所が所蔵する石本文庫の114点の史料の全文翻刻を目標としている。

これまでなされてきた歴史地震史料の解釈の間違いについて、いくつか指摘した。たとえば、1847年2月15日(弘化四年一月一日)に越後高田で発生したとされてきた地震被害は、実際には存在せず、1847年5月8日(弘化四年三月二四日)の地震(いわゆる善光寺地震)によるものだったことをしめした。これまでに蓄積されてきた地震史料の再評価により、より正確な歴史地震カタログを作成することができることをしめしている。

市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」に協力した。

歴史学の専門家の協力を得て、古地震に関する合宿形式の研究会(翻刻を主とした史料解析の実践)を実施した(平成28年9月、平成29年3月)。この研究会の内容は、翻刻を主とした史料解析の実践および歴史学に関する話題の講演である。翻刻にあたっては歴史学の専門家の指導および史料の背景の説明を受ける。また講演では、古文書解読の背景となる知識を得る。この研究会は、地震学のバックグラウンドをもちながら史料の解読もできる人材の育成の端緒となっただけでなく、歴史学、人文情報学、地理学、地質学、気象学、地震学といった幅広い分野の研究者および学生、大学職員、一般市民の交流の場となることを目指すものである。「みんなで翻刻」の開発や、上記の歴史地震研究は、この研究会での学習、技術向上、情報交換によって生みだされたものである。

おおむね計画どおりの進捗である。みんなで翻刻は、計画提出後に具体化したものである。

以下にこれまで解読した、あるいは解読中の史料について、名前、対象とする地震等をしるす。

- ・「信越震漲録」、1847年善光寺地震
- ・「弘化四丁未大地震御届書写」、1847年善光寺地震
- ・「信州大地震前後天災之記事」、1847年善光寺地震
- ・「見聞書写」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間の記」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間山焼候二付松平讃岐守見分候者届出二書付」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間山焼大変記」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間山焼一件」、1783年浅間山噴火
- ・「信州浅間山土砂降り所々書上并はなし」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間山焼之図」、1783年浅間山噴火
- ・「信州大地震聞書」、1847年善光寺地震

- ・「弘化四未年三月信濃国大地震二付同国在陣御代官届書写」, 1847年善光寺地震
- ・「丁未震災録」, 1847年善光寺地震
- ・「安政見聞録」, 1855年江戸地震
- ・「安政風聞集」, 1856年江戸台風
- ・「安政見聞誌」, 1855年江戸地震
- ・「安政東南海地震に関する書状」, 1854年東南海地震
- ・「元録地震記」, 1703年関東地震
- ・「肥前國島原領普賢山大変記」, 1792年雲仙噴火
- ・「嘉永七甲寅四月京都大火諸国大地震控」, 1854年伊賀上野地震
- ・「嘉永七寅年六月十四日上方筋大地震二付、定飛脚問屋島屋佐右工門、京屋弥兵衛より申出候書付写」, 1854年伊賀上野地震
- ・「嘉永七甲寅年上方諸国大地震出火荒増扣」, 1854年伊賀上野地震
- ・「五街道江戸大地震出火場所絵巻」(個人蔵) 1855年江戸地震
- ・「日記安政二年より」(稻生家文書14, 埼玉県立文書館) 1855年江戸地震
- ・「元禄十六年御普請」(埼玉県立文書館 岩国市岩国藩関係文書28) 1703年関東地震
- ・「申渡」(埼玉県立文書館 船川家1325(CH89)) 1855年江戸地震
- ・「乍恐以書付御注進奉申上候」(埼玉県立文書館 船川家1534(CH93)) 1855年江戸地震
- ・「[地震二付御触書写]」(埼玉県立文書館 西角井家7747(CH279)) 1855年江戸地震
- ・「[善光寺地震に関する書状]」(東京大学地震研究所図書室 文書番号1074) 1847年善光寺地震
- ・「地震考」(早稲田大学図書館古典籍総合データベース) 1830年京都地震
- ・「善光寺地震被害書上」(東京大学地震研究所図書室 文書番号 石本文庫41) 1847年善光寺地震
- ・「弘化四大地震由来全」(東京大学地震研究所図書室 文書番号 石本文庫224) 1847年善光寺地震
- ・「諸国海辺地震津波書」(東京大学地震研究所図書室 文書番号 石本文庫229) 1854年東海地震・南海地震

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
加納靖之, 2017, 古地震学とくずし字解読, 加納靖之, アプリで学ぶくずし字 くずし字学習支援アプリ KuLA(クーラ)の使い方, 飯倉洋一(編), 笠間書院, 92 pp.

加納靖之, 2016, 弘化四年(1847年)越後高田の地震における年月日の取り違え, 地震2, 69, 41-47, doi: 10.4294/zisin.69.41.

加納靖之, 2016, 1882年(明治15年)2月の泥雨記事, 京都大学防災研究所年報, 59B, 72-75.

橋本雄太・加納靖之・大邑潤三, 2016, Text Encoding Initiative ガイドラインに基づく古地震史料のマークアップ, 歴史地震, 31, 196.

加納靖之・服部健太郎・中西一郎・安国良一・五島敏芳・渡辺周平・岩間研治・福岡浩, 2016, 京都大学理学部に所蔵されている自然災害史料の解読と画像化, 歴史地震, 31, 206.

服部健太郎・中西一郎・加納靖之・渡辺周平, 2016, 京都大学に残る地震直後の調査記録と現地調査による1925年北但馬地震の1927年北丹後地震被害への影響評価, 歴史地震, 31, 218.

(10) 平成29年度実施計画の概要:

平成29年度は、南海トラフの巨大地震を中心に内陸地震(1830年京都地震、1847年善光寺地震、1854年伊賀上野地震など)についても調査・解析をおこなうこととする。火山噴火、気象災害についても史料の解読・調査・解析を実施する。

合宿形式の研究会(翻刻を主とした史料解析の実践)については継続して実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

京都大学防災研究所 加納靖之

京都大学大学院理学研究科 中西一郎
他機関との共同研究の有無：有
京都大学総合博物館 五島敏芳
新潟大学 災害・復興科学研究所 福岡浩

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：京都大学防災研究所附属地震予知研究センター
電話：
e-mail：
URL：<http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

- (13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
氏名：加納靖之
所属：京都大学防災研究所附属地震予知研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

近代観測以降の大噴火時の観測データの整理と低頻度大規模噴火予知に寄与する情報の抽出

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

近代観測データが得られるようになった噴火事象の中で顕著な国内の噴火について観測データを網羅して整理する。そして、噴火発生前後の地震活動、地盤変動などをから、現在の観測データから低頻度大規模噴火予知に役立つ情報を抽出する。

明治・大正の日本の科学黎明期に発生した大規模噴火として、磐梯山明治噴火と桜島大正噴火を取り上げ、文献事例調査と当時の観測データの再検討をする。

磐梯山明治噴火については、既存の研究結果を検証するために、水蒸気爆発時の地震動の聞き取り調査結果から震度分布から震源位置とメカニズムを評価する。爆発発生源の位置と火山構造探査結果との比較検討を行う。あわせて明治期の限られた火山の知識に基づいて推定された噴火メカニズムを現代の火山学知見にて検証する。

桜島大正噴火については、地震と地盤変動の定常観測データを用いて、桜島におけるひずみ速度と応力変化の構成関係を明らかにする。そして、大正噴火時の地震回数や規模からひずみ速度を推定する。大正噴火に至った時点での積算ひずみ速度を推定して、今後の噴火警戒レベル設定のおおよそ目安(閾値)とする。また、大正噴火の時に発生した桜島地震の再評価を行う。気象庁と連携して、各地の測候所の地震記録を入手して、震源とメカニズムを推定する。

本研究において大噴火の前兆現象の理解を進めることで項目2(4)事象系統樹の高度化による火山噴火予測の研究に寄与できる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、地震・噴火予知協議会共同事業に基づいた計画である。

平成26及び27年度においては、磐梯山明治噴火については、水蒸気爆発時の地震動の聞き取り調査結果から加速度分布(震度分布)を精査して、震源位置とメカニズムを評価する。

平成27~29年度においては、桜島大正噴火の地震活動の再評価を行う。現在の観測から得られている地盤変動と地震活動からひずみ速度と応力変化の関係を明らかにして、大正噴火当時の群発地震から地盤変動を推定して評価する。桜島地震については、現存する波形記録を用いて震源決定とメカニズム解推定を行う。また、磐梯山明治噴火については前兆現象についてその物理的背景を検討し、低頻度大規模噴火のメカニズムの知見の向上を目指す。

平成27~30年度においては、前述の調査対象火山について観測データ・資料・論文などを収集して整理する。そして、現在の観測データから低頻度大規模噴火予知に役立つ情報の抽出を行う。

(8) 平成28年度の成果の概要：

計画に示した通りに、桜島大正噴火中に起こった桜島地震の震源の震源再決定を行った。鹿児島測候所の地震記象紙の水平記録をデジタル化し補正を施して、振動軌跡を得た。初動の振動方向から鹿児島測候所から南南東の方向に震央があると推定した。そこで、鹿児島測候所から南南東方向に震央があるという拘束条件を与えて、当時の国内の各官署における地震記象紙から得られた10地点でのS-P時間から残差RMS分布を求めた。最小RMS残差となる場所は鹿児島測候所から7km南南東の深さ0kmであった。震央は鹿児島市街地の海岸付近であり、震源の深さは極浅いと再評価できた。

明治21年の磐梯山噴火は西欧の科学的知識・技術が我国に移行・導入される時期に起きた。西欧の正しい学説と誤った学説が同時に流入し、その分別は当時の研究者の能力に依存する時代であった。磐梯山噴火を調査した関谷教授は自身の信奉するHumboldt説に基づき調査結果を整理し、噴火シナリオを提唱した。しかしこの説に誤謬があり、従って関谷・菊池の噴火シナリオにも誤りが生じた。このような誤謬の伝播の過程を当時の1次資料をもとに検討した結果を火山学会誌に投稿し受理・印刷された。

上記と並行して西欧の科学技術の移植を国是として我国の官庁等の雇用された「お雇い外国人」技術者・教師の磐梯山調査への貢献度とその限界について史料に基づき検討した。その結果、他分野で活躍したH.S. PalmerとW.K. Burtonの両氏はそれぞれ、磐梯山の崩壊地形測量と噴火写真撮影について多大な貢献し、その成果がSekiya・Kikuchi(1890)に反映され、我国の火山学の発展に寄与した実態を明らかにした。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

浜口博之・中道治久・植木貞人, 2016, 1888年磐梯山水蒸気爆発に関するノート(4)諸大家の誤謬に関する考察, 火山, 61, 3, 503-518.

緒方誠・岩田訓・後藤和彦, 2016, 1914年桜島大正噴火時の地震の震源位置再評価, 日本地球惑星科学連合大会, S-SS30-P12.

(10) 平成29年度実施計画の概要：

桜島大正噴火に前駆した地震のリストとして残っている論文や資料と実際の記象紙に残されている地震には対応していない部分が複数見つかったので、さらに精査を進めていく。そして、前駆地震活動における地震エネルギーの定量化をする。

前年度の「お雇い外国人」技術者・教師の我国の火山学黎明期への貢献の在りようをさらに追加検証する。またこれまでシリーズで報告したこれまでの研究成果に基づき、明治期の限られた当時の火

山噴火のイメージを集大成し、現在の火山構造探査結果や地震活動等と比較検討し、我国の最大の水蒸気爆発であった磐梯山明治噴火のメカニズムの解明に努める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

中道治久・井口正人(京都大学防災研究所附属火山活動研究センター)

他機関との共同研究の有無 : 有

浜口博之(東北大学大学院理学研究科) , 後藤和彦(鹿児島大学大学院理工学研究科)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

電話 : 099-293-2058

e-mail : nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL :

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 中道治久

所属 : 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

イ. 海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界で起きる大 - 巨大地震の詳細な破壊過程を分析・比較することにより、巨大地震の発生様式を解明し、南海トラフ巨大地震の破壊様式の詳細を拘束することを目的とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

2011 年東北地方太平洋沖地震をはじめとして、プレート境界で起きた大地震～巨大地震の震源過程を広帯域地震動生成の観点で分析する。三次元速度構造モデルの利用や強震観測点のサイト評価を行うことによって、近地のグリーン関数の信頼度を上げることにより、波形インバージョンの帯域を短周期帯に拡張し、広帯域でより信頼度の高いすべりの時・空間分布を求め、巨大地震の破壊様式の詳細を解明する。また、過去に発生し既往研究があるイベントに関しては、遠地記録を用いたすべり分布モデル、近地強震記録等を用いた強震動生成モデルをそれぞれ収集し、解析周期帯域と時空間の解像度を確認した上でコンパイルを行う。このようにして得られた複数の震源像を多角的に比較して大地震～巨大地震の発生・破壊進展過程の差異の有無を検討するとともに、将来発生する巨大地震の広帯域震源モデルの構築と、発生様式の詳細を拘束する震源特性やパラメータを探る。

各年度の実施計画は以下を予定する。

平成 26 年度 既往震源モデル(長周期モデル、強震モデル)の収集、震源モデリング

強震記録等の収集、強震観測点サイト特性評価

平成 27 年度 既往震源モデルの収集継続、周期帯別特性抽出、震源モデリング

強震記録等の収集、強震観測点サイト特性評価

平成 28 年度 広帯域震源モデルプロトタイプ提案、既往地震による検証

強震記録等の収集、強震観測点サイト特性評価

平成 29 年度 広帯域震源モデルプロトタイプ of 改良

発生様式特性分析，強震記録等の収集，強震観測点サイト特性評価

平成 30 年度 広帯域震源モデルの提案

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

2016 年熊本地震と一連の地震活動では、2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分に発生した $M_j 6.5$ の地震（本稿では最大前震と呼ぶ）の約 28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分に $M_j 7.3$ の地震（本稿では本震と呼ぶ）が発生した。本課題では、マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン法（Hartzell and Heaton, 1983）を強震記録に適用し、最大前震と本震の震源破壊過程を推定した。最大前震については、直後の余震分布及び防災科学技術研究所 F-net のモーメントテンソル解の情報から、日奈久断層帯北部に沿ったほぼ鉛直の断層面（走向 212 度、傾斜 89 度、長さ 14 km、幅 13 km）を仮定し、速度波形 3 成分（0.051 Hz）の S 波部分を解析した。深さ 11.4 km の破壊開始点付近にすべりの大きな領域が見られたほか、北東側のやや浅い部分（深さ 5 km 程度）にもすべりの大きな領域が推定された。地震モーメントは 2.04×10^{18} Nm（ $M_w 6.1$ ）、平均すべり量 0.4m、最大すべり量 1.2 m であった。本震については、余震の空間分布の特徴、各機関の現地調査による地表地震断層の出現情報、国土地理院による地殻変動の解析結果などの関連情報を参考にして、日奈久断層帯北部（走向 205 度、傾斜 72 度、長さ 14 km、幅 18 km）と布田川断層帯（走向 235 度、傾斜 65 度、長さ 28 km、幅 18 km）に沿った 2 枚の断層面からなるモデルを設定し、速度波形 3 成分（0.050.5 Hz）の S 波部分を解析した。日奈久断層帯北部の深部から破壊が開始し、日奈久断層帯北端付近の浅部にもやや大きなすべりが生じた。その後、破壊は布田川断層帯深部に伝播し、北東にユニラテラルに伝播しつつ、浅い方向へ広がっていった。すべりの大きな領域は阿蘇カルデラの内側（南阿蘇村付近）まで達している。地表に最も近いサブ断層のすべり量は 1~3 m 程度である。また、断層面上のすべりのスナップショットと、布田川断層帯近傍の熊本県震度計観測点（益城町、西原村）の変位波形（インバージョンには使用していない）を比較したところ、観測点近傍の断層がすべる時刻に対応して、同程度の変位が観測されており、推定された破壊過程の妥当性を確認した。地震モーメントは 4.50×10^{19} Nm（ $M_w 7.0$ ）、平均すべり量 1.9 m、最大すべり量 5.1 m であった。以上のことから、日奈久断層帯北部での前震を伴い、本震時には日奈久断層帯北部から布田川断層帯にかけて、連続的に破壊が伝播したものと考えられる。また、日奈久断層帯北部の断層面は、最大前震時はほぼ鉛直に近い断層面が破壊したのに対し、本震時は北西に傾斜した断層面であった。このことから、最大前震と本震ではお互いに近接しているが、異なる断層面がそれぞれ破壊したものと考えている。

2016 年熊本地震本震では、地表地震断層が出現したが、その直近の 2 地点（益城町および西原村）において強震記録が得られた。この加速度記録を基線補正に注意しながら速度、および変位波形を得て、地震断層の運動に関係する情報を取り出した。断層直交方向の動きの変化に着目することによって、地震断層の破壊伝播を直接見積もることができる（Aki, 1968）。この方法によって、約 9 km 離れた 2 地点の見かけの破壊伝播速度は約 4.5km/s となった。この速度は周辺の S 波伝播速度を越えているが、Supershear 破壊を表しているのではなく、破壊が下方から情報へ進んでいる（本報告および Asano and Iwata, 2016）ことに対応していると考えられる。2 次元的な震源断層面における破壊伝播の推定や評価には、水平方向のみならず深さ方向の破壊伝播特性も考慮した分析が必要である。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

浅野公之・岩田知孝, 強震記録による 2016 年熊本地震の震源破壊過程, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, MIS34-P61, 2016.

Asano, K. and T. Iwata (2016), Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data, *Earth Planets Space*, 68, 147, doi:10.1186/s40623-016-0519-9.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

プレート境界巨大地震の強震動生成過程についての検討を継続する . 期間中に発生した被害地震等の震源モデリングを行う .

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

岩田知孝

浅野公之

関口春子

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所地震災害研究部門 (強震動)

電話 : 0774-38-4057

e-mail : iwata@egmdpri01.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL : <http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 岩田知孝

所属 : 京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域の構造研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

四国と南九州の下に沈み込むフィリピン海プレートとその周辺の構造をレシーバ関数解析や地震波走時トモグラフィなどの地震学的手法により高精度に推定する。得られた構造をもとに、南海トラフ巨大地震やマグマの発生場であるプレート境界面やマントルウェッジの物性や状態を明らかにする。加えて、地震発生や強震動のシミュレーションに資する地震波速度構造モデルの開発を目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、四国東部において、フィリピン海スラブの傾斜方向とその直交方向に設定された測線上に観測点を約 5km 間隔で配置する地震観測を計画し、観測点候補地の選定と調査を行う。適切と認められた観測点に地震計やデータロガー等を設置し、観測を開始する。四国西部で行われたアレイ観測の既存データを用いて、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面の暫定的なイメージを得る。南九州において、前計画から行っている宮崎 阿久根測線と宮崎 桜島測線での同様の観測を継続し、データの蓄積を行うとともに、レシーバ関数解析によりフィリピン海スラブを含む地震波速度不連続面のイメージングを行う。

平成 27 年度においては、四国東部において、地震観測を継続し、地震波形データの蓄積を行う。必要であれば、追加の観測を開始する。前年度に得たデータに対して、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面の暫定的なイメージを得る。その際、2002 年～2004 年に行われた臨時観測のデータも再解析し、四国東部から山陰中部までのイメージを作成する。南九州において、観測を継続し、データの蓄積を行うとともに、レシーバ関数解析により地震波速度不連続面のイメージを更新する。地震波の読み取り（外注）を行う。

平成 28 年度においては、四国東部において、地震観測を継続し、地震波形データの蓄積を行う。レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面のイメージを更新する。四国西部において、観測点候補地の選定と調査を行う。適切と認められた観測点に地震計やデータロガー等に移設し、観測を開始する。南九州において、トモグラフィ解析を行い、3 次元速度構造の暫定版を得る。

平成 29 年度においては、四国西部において、地震観測を継続し、地震波形データの蓄積を行う。必要ならば、追加の観測を開始する。前年度に得たデータに対して、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面の暫定的なイメージを得る。地震波の読み取り（外注）を行う。南九州において、トモグラフィ解析を行い、3 次元速度構造を更新する。

平成 30 年度においては、四国東部と西部において、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面のイメージを更新する。四国東部と西部のレシーバ関数解析の結果を併せて解釈し、四国下に沈み込むフィリピン海スラブの形状を推定する。地震波の読み取り（外注）を行う。四国において、トモグラフィ解析を行い、3 次元速度構造を更新する。これらと紀伊半島および南九州での結果を併せて、紀伊半島～四国～南九州の広い地域において、南海トラフ巨大地震の震源断層であるフィリピン海プレート境界面近傍の物性や状態を解明する。地震サイクルシミュレーションや強震動予測に資する地震波速度構造モデルを開発する。

（ 8 ）平成 28 年度の成果の概要：

本研究では、リニアアレイ観測、レシーバ関数解析および地震波走時トモグラフィ解析により、南九州、四国および紀伊半島の地下構造を高精度に推定することを目的とする。得られた構造をもとに、南海トラフ巨大地震の発生場であるプレート境界面とフィリピン海スラブ周辺の物性・状態の推定、および地震サイクルシミュレーションや強震動予測に資する地震波速度構造モデルの開発に必要な情報の抽出を目指す。平成 28 年度の成果の概要は以下のとおりである。

紀伊半島では、2004 年 3 月から 2013 年 3 月まで延べ 6 測線においてリニアアレイ観測が行われた。これまで、レシーバ関数解析では全期間のデータが解析され、フィリピン海スラブ上面の 3 次元形状が推定された。トモグラフィ解析では、2010 年途中までの 74 か月間の読み取りデータの解析からスラブ周辺の 3 次元地震波速度構造が推定された。昨年度、2010 年以降のデータに対して、未読み取り期間については業者委託による自動読み取りを行い、33 か月間のデータを追加した。今年度は、新たに追加された読み取りデータを含めて、トモグラフィの再解析を行った。再解析では走時データが、P 波、S 波とも約 1.5 倍に増加した。トモグラフィには FMTOMO (Rawlinson et al., 2006, Explor. Geophys.) を用いた。その実行に際しては、Ramachandran and Hyndman (2012, Solid Earth) の 4 ステップアプローチを参考にした。得られた 3 次元速度構造では、スラブ上面の深さ 30～40 km あたりの深部低周波イベントが発生する海洋地殻の周辺で、P 波速度 (V_p) と S 波速度 (V_s) はともに 5 % 以上の低速度異常を示し、 V_p/V_s 比は 1.8 を超える値を取る (図 1)。これは、海洋地殻内の含水鉱物の脱水分解が進み、流体が放出されたためと考えられる。また和歌山県北部の、上部地殻に微小地震が多発する領域の下の下部地殻に V_p が 10 % にも及ぶ非常に強い低速度異常域がやや東西に広がる形で存在する (図 2 左)。この領域では V_s も低速度異常を示すが、その程度は V_s よりも小さく、その結果、 V_p/V_s 比は 1.6 を下回る (図 2 中・右)。この低速度異常域から流体が浅部の脆性領域に上昇し、岩石中の間隙水圧を上げ、摩擦力を下げるため、この地域で微小地震が多発すると考えられる。そしてこの低速度異常域は、 V_p/V_s 比が非常に小さいことから、シリカの沈殿物ではないかと考えられる。

南九州では、宮崎 - 阿久根測線と宮崎 - 桜島測線での稠密リニアアレイ観測を継続し、レシーバ関

数解析やトモグラフィ解析用の波形データの蓄積を行った。また、京都大学防災研究所火山活動研究センターの地震観測点の 2011 年～2016 年のデータに対してレシーバ関数解析を行い、宮崎 - 桜島測線のレシーバ関数イメージを更新した(図 3)。両測線のレシーバ関数イメージに共通して見られる特徴としては、(1) 島弧の大陸モホ面 (CM) が、測線の中～西部では深さ 30～35 km に明瞭にみられるが、東部のウェッジ域では不明瞭になること、(2) 深さ 100～120km まで明瞭にみられるスラブ内の海洋モホ面 (OM) が、深さ 60km 付近で折れ曲がること、の 2 つが挙げられる。(1) は、ウェッジ部がスラブ起源流体の影響で低速度化し、モホ面が高速度層上面ではなくなっているためと考えられる。このウェッジ部には流体が存在するか、強度の弱い蛇紋岩に変成していると考えられ、ここに接するプレート境界面は安定すべり域である可能性が高い。一方、(2) は脱水後の海洋地殻が basalt の eclogite 化により重くなったことを示している。また、宮崎 - 桜島測線において、桜島直下の低周波地震 (白丸) の発生域は濃い青のイメージであり、強い低速度層であることがわかる。火山活動に関係する流体の存在が示唆される (3 図)。

四国では、徳島県海陽町から香川県綾川町に至る海陽 - 綾川測線と、徳島県上山町から高知県大豊町に至る徳島 - 大豊区間での稠密リニアアレイ観測を継続し、レシーバ関数解析やトモグラフィ解析用の波形データの蓄積を行った。さらに、高知県の町から愛媛県西予市に至るいの - 西予区間において、7 点の観測点候補地を選定した。3 月下旬に観測点を展開する予定である。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
澁谷拓郎・平原和朗, 地震波走時トモグラフィから推定された紀伊半島下のスラブ起源流体の特徴 (2), 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (幕張メッセ, 千葉市), SCG57-P03, 2016
澁谷拓郎・平原和朗, 南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域の構造研究 (3) - 紀伊半島下の 3 次元地震波速度不均質構造 -, 日本自然災害学会平成 28 年度学術講演会 (静岡県地震防災センター, 静岡市), ?-5-4, 2016 (9 月 21 日)
澁谷拓郎・平原和朗, 地震波走時トモグラフィから推定された紀伊半島下のスラブ起源流体の特徴, 日本地震学会 2016 年秋季大会 (名古屋国際会議場, 名古屋市), S06-12, 2016 (10 月 6 日)

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

紀伊半島では、全期間のデータを用いてトモグラフィの再解析を行う。Ramachandran and Hyndman (2012, Solid Earth) 等を参考にして、 V_p/V_s 比を推定する手法をさらに改良する。

南九州では、稠密リニアアレイにおいてデータが十分に蓄積されていない観測点の観測を継続する。レシーバ関数解析では、追加された波形データを解析し、レシーバ関数イメージを更新する。トモグラフィ解析を行う。

四国では、これまでに設置した 14 観測点については、観測を継続し、蓄積されたデータを用いてレシーバ関数解析を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

澁谷拓郎、寺石眞弘、山崎健一 (地震予知研究センター)、井口正人、為栗 健 (火山活動研究センター)

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学理学研究科 : 大倉敬宏

東京大学地震研究所 : 小原一茂、加藤愛太郎

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所 地震予知研究センター

電話 :

e-mail :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 澁谷拓郎

所属 : 京都大学防災研究所

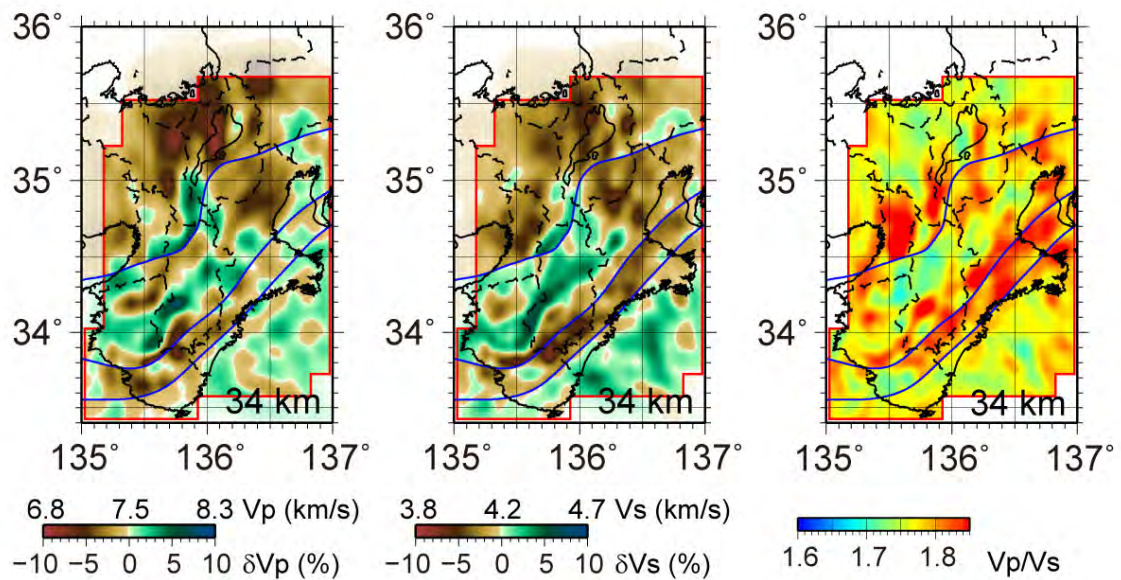


図 1 深さ 34 km での P 波速度 (左) と S 波速度 (中) と V_p/V_s 比 (右) の不均質分布

赤線内がチェッカーボードテストにより分解能があると考えられる領域。青線は北から大陸モホ面、スラブ上面、海洋モホ面を示す。

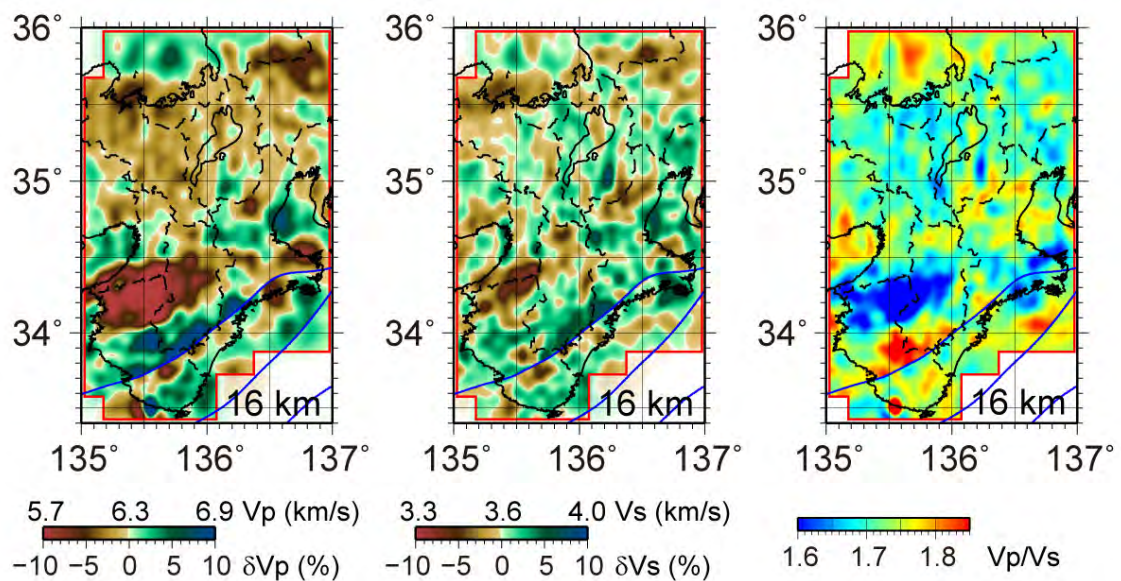


図 2 深さ 16 km での P 波速度 (左) と S 波速度 (中) と V_p/V_s 比 (右) の不均質分布

赤線内がチェッカーボードテストにより分解能があると考えられる領域。青線は北から大陸モホ面、スラブ上面、海洋モホ面を示す。

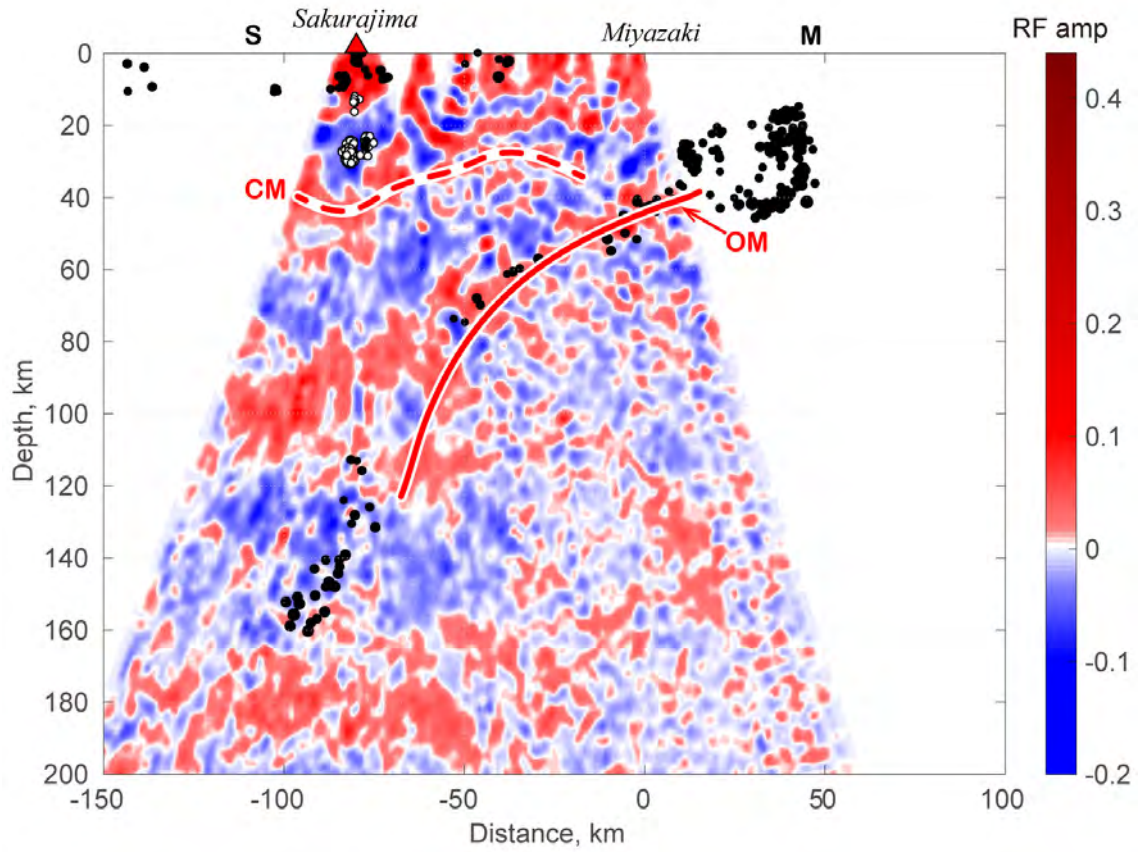


図3 南九州の宮崎 - 桜島測線におけるレシーバ関数イメージ

レシーバ関数の振幅を共通のP-S変換点で重合したもので、S波速度不連続面を表す。CMとOMを付した赤線は、それぞれ大陸モホ面と海洋モホ面の解釈線である。黒丸と白丸はそれぞれ通常の地震と深部低周波地震を表す。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

日本列島変動の基本場解明：地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動 - 変形

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻とマントルにおける変動現象の基本場(物質場、温度場、応力場、流動 - 変形場と、その複合場としての地震発生場および流体 - マグマ生成・上昇場)の理解を深化させ、同時に、それらを比較・統合することで、地震発生場と流体 マグマ発生・噴火場を統一的に理解することを目的とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

日本列島の物質場(特に、地殻流体の分布と量) 温度場(地下温度分布、マントルポテンシャル温度) 応力場(絶対応力とその分布) 流動 変形場(島弧地殻の粘弾性変形を含む)の定量的理解を、地震波・電気伝導度に関する実験的および観測データの統合数値解析、火山岩・熱水・鉍脈の地球化学組成解析、稠密地震観測結果の地震学的解析、および地殻変形データのインバージョン解析により進める。それらの結果を統合して、地震発生場と流体 マグマ発生・噴火場を統一的に理解することを目的とする。H26~H27年度においては、特に有馬型塩水の採取、火山微量元素組成の定量的解析手法の開発、含水岩石の地震波速度および電気伝導度の実験的測定に用いる試料作製、微小地震データの整備、日本列島規模での流動変形場の数値フォワードモデルの構築を目指す。H28~H30年度に

おいては、採取試料の化学・同位体分析とその定量的解析、含水岩石の地震波速度および電気伝導度の実験的測定、微小地震データ解析による広域応力場の推定、数値フォワードモデルのパラメータスタディを行い、物質構造、温度場、応力場、変形場の関係と、統合モデルの構築を目指す。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

日本列島の物質場・温度場、応力場、流動 変形場に関する下記研究を進めた。いずれもほぼ計画通りに進行したといえる。

物質場・温度場：日本列島下の流体の起源や分布を知る手がかりとして、構造線沿いに湧出する深部由来流体の調査、分析、解析を行った。今年度は、有馬、紀伊、中部の補足調査や分析に加え、四国について予備的調査やサンプリングを進めた。火山岩については、北海道、東北南部で得られたデータ解析を進めた。前年度までに得られた有馬型の深部由来流体の実態と起源に関する解析や知見(すなわち、(1) 有馬型塩水の化学的性質を、従来の酸素・水素・He 同位体等に加え、REE 元素からも特徴づけし、(2) 比較的浅所まで有馬型の深部由来流体が上昇してきていること、(3) 深度数百メートル付近で、比較的低温・酸化状況にさらされて Fe や REE などを沈澱させるケースが多いことなど)に加え、今年度は、そのような流体、特に深部流体から溶存成分が沈澱した後の産物と考えられる流体が、紀伊半島の中央構造線沿いに広く分布していることを明らかにした(Nakamura et al., 2016 ; 図 1)。同地域の温泉水は、REE 元素濃度の主成分分析(Principal Component Analysis)に基づいて体系化し、その結果を主成分溶存元素濃度および酸素・水素・He の同位体比と比較し、5 つのタイプに分類されること、また、そのうち、有馬地域に分布する塩水と類似のタイプが存在することを明らかにした。島弧火山岩の組成とその日本列島全域スケールでの空間変化を、あらたに分析した同位体データを加えて統計解析し、各島弧(千島～北海道、東北、中部、伊豆、西南日本、九州南部～琉球) ごとに特徴があり、組成上でクラスタを形成することが明らかとなった(Nakamura et al., 査読中)。この結果は、沈み込む物質とスラブの物理化学状態が島弧ごとに異なることを反映していると解釈される。

応力場：2000 年鳥取県西部地震域での稠密地震観測データ(図 2) の整備を行い、震源断層周辺で発生した余震約 4000 イベントの発震機構解データをもとに本震断層周辺の主応力軸の空間分布を求めた。その結果余震域の大部分では、この地域の広域応力場と整合的な北西 - 南東方向の水平最大応力軸が推定された一方で、余震域南端では東西方向の水平最大圧縮応力軸が推定された(図 3)。さらに、本震断層面と余震分布との関係について詳細に調べた結果、余震は本震断層面から鉛直に 1.0 ~ 1.5km の幅で分布し、断層露頭観察から得られた断層破碎帯の幅及び流体拡散により引き起こされた箱根火山の群発地震の震源分布幅よりも有意に広く分布していることが分かった(図 4)。また、余震メカニズム解の節面に作用した本震すべりによる静的応力変化(CFF) を求めた結果、本震断層周辺の 9 割近くの余震が正の CFF を持つことが分かった(図 5)。以上の結果から、余震は本震断層の再破壊ではなくほとんどが本震断層の周辺で起きている現象であること、余震分布の幅は断層破碎帯や群発地震の震源分布より広い幅で起きていること、余震分布の幅は本震の破壊により生じた静的応力変化にコントロールされていることが分かった。断層破壊による生じた応力変化が余震を引き起こす主要因になっていることが本研究により確かめられ、またこうした情報は今後余震データを用いて断層周辺の応力場を議論する上で重要となる。

また、地震波速度・電気伝導度統合インバージョンによる流体分布やその応力場との関係性の解明を目指して、含水岩石の電気伝導度を実験と理論の両面から研究した。含水花崗岩のクラック密度と電気伝導度の関係を図 6 に示す。クラック密度の増加に伴う電気伝導度の増加は、クラック密度 0.1 を境にして大きく変化している。クラック密度 0.1 以下では緩やかな増加、それ以上では急激な増加が見られる。X 線 CT 観察により、岩石試料内のクラックは主として開いた粒界であることが分かっている(Watanabe and Higuchi, 2015)。そのため、立方体粒子の集合を考え、どれだけの割合の粒界が開いと連結した経路が形成されるのか、数値実験を行った。開いた粒界がつくるクラスタの最大長(考えている集合のサイズ [注 1] で規格化している) を開いた粒界の割合の関数として図 7 に示す。開いた粒界が全粒界の 20% を超えると規格化された最大長が 1 に達する。すなわち、系全体に渡る連

結した経路が形成される。このパーコレーションの閾値をクラック密度に換算すると、0.1になる。図6に見られるクラック密度0.1以上での急激な電気伝導度の増加は、クラック（開いた粒界）のパーコレーションによるものと考えられる。電気伝導度は、閾値以下でも流体が連結していることを示している。封圧増加によりクラック密度が閾値よりも小さくなくても流体の連結が保たれているのは、図8のように、粒界の開口の大きい部分があるためである。粒界の形状は、地殻内でかつて粒子と流体とが平衡共存していたことを強く示唆している。したがって、図8に見られる開口の大きな部分はこの粒界に広く存在しているはずである。このような凸凹の見られる粒界は粒界全体の30%であり、開口の大きな部分は連結した経路を形成しうる。閾値以下での緩やかな電気伝導度の変化は、圧力変化に伴うこの経路の変化を反映していると考えられる。地殻内で観測されている電気伝導度の大きな空間変化は、地殻内のクラック密度がパーコレーション閾値付近にあることを意味しているのではないだろうか。

[注1] 立方体を縦方向、横方向、高さ方向にそれぞれ N 個並べて、 N^3 個の立方体からなる集合を考えた時、この N （集合体の1辺の長さ）を集合のサイズとする。

流動 - 変形場：日本列島の変形場の理解を進めるための一助として、2016年熊本地震に伴う地震時地殻変動データをインバージョン解析し、その滑り分布を求めた。大筋としては計画通りであるが、熊本地震発生を受けて、沈み込み帯の一般論ではなく、熊本地震の具体的解析を行った。熊本地震では主に布田川断層が滑ったが、布田川断層の南西に位置する日奈久断層も同じく地震時に滑ったことが地表地震断層の調査などから推定されている。つまりは、熊本地震では、複数の断層が同時に滑る複雑な断層運動が生じた。そのような複雑な地震の断層運動を解明するために、既存の弱非線形インバージョン解析法（Fukahata and Wright, 2008, GJI）を複数断層の場合に拡張して用いた。この手法のポイントは、断層面を簡易に平面と仮定した場合に、インバージョン解析に先立って高い精度で与えるのが難しい断層傾斜角をスムージングの強さと同様に超パラメタとみなし、ABIC 最小の規準で最適値を求めるというものである。解析の結果、最適な断層傾斜角は、布田川断層 61 ± 6 、日奈久断層 74 ± 12 と求めた。布田川断層の最大滑り量は5mを越え、横ずれ成分が主だが、断層の中央（東経130.9）を中心に3mに達する正断層成分も推定された（図9）。日奈久断層との交差部よりも西側では滑りが大きく減少する一方、阿蘇カルデラ西縁（図で strike = -10 km 付近）のすぐ内側には顕著な滑りが推定され、この地域の大きな被害と調和的である。日奈久断層の最大滑り量は約2.5mで、ほぼ純粋な横ずれ運動である。地震モーメントの総量は 4.4×10^{19} Nm、日奈久断層の寄与はその約20%であることが分かった。

統合モデル：沈み込むプレート、脱水反応と流体移動、対流するマントルウエッジと流体の反応、流体濃度と温度に依存する粘性率を考慮した、沈み込み帯スケール（深さ~300?、海溝~背弧）での2次元2相対流モデルを構築し、東北日本に適合する条件で計算を行った。その結果、含水量数%、蛇紋岩およびカンラン岩に関する粘性率の水・温度依存性が実験推定値程度の場合に、地震波トモグラフィー、地殻熱流量、火山帯の位置と幅・安定性を再現するモデルが提案された（Horiuchi and Iwamori, 2016; 図10）。流体と固相対流の非線形相互作用を考慮した初めてのモデルであり、本課題で目指す「物質場・温度場・変形場の要素を統合的に説明するモデル」の一つであり、東北日本下の構造とダイナミクスの基本場の理解につながる。

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
Nakamura, H., K. Chiba, Q. Chang, N. Morikawa, K., Kazahaya, H. Iwamori, 2016, Origin of the Arima-type and Associated Spring Waters in the Kinki District, Southwest Japan, *J. Geol. Geophys.*, 5:240. doi: 10.4172/2381-8719.1000240.
Iwamori, H., K. Yoshida, H. Nakamura, T. Kuwatani, M. Hamada, S. Haraguchi, K. Ueki, 2017, Classification of geochemical data based on multivariate statistical analyses: Complementary roles of cluster, principal component, and independent component analyses, *Geochem. Geophys. Geosys.*, 10.1002/2016GC006663.
Ichimura, T., R. Agata, T. Hori, K. Hirahara, C. Hashimoto, M. Hori, and Y. Fukahata, 2016, An elas-

tic/viscoelastic finite element analysis method for crustal deformation using a 3D island-scale high-fidelity model, *Geophys. J. Int.*, 206, 114-129, doi: 10.1093/gji/ggw123. 査読あり

Fukahata Y. and M. Hashimoto, 2016, Simultaneous estimation of the dip angles and slip distribution on the faults of the 2016 Kumamoto earthquake through a weak nonlinear inversion of InSAR data, *Earth Planets Space*, 68, 204, doi: 10.1186/s40623-016-0580-4. 査読あり

Horiuchi, S., and H. Iwamori, 2016, A consistent model for ρ uid distribution, viscosity distribution, and ρ ow-thermal structure in subduction zone, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 3238-3260, doi:10.1002/2015JB012384.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

物質・温度場：火山岩については、これまでに得られたデータを用いて日本列島全体でのマグマ組成・スラブ由来流体の量・組成分布を得る。マントル対流 - 温度 - 物質の統合モデルとの比較を行い、マグマの生成・上昇と基本場の関係について議論を行う。熱水については、四国の中央構造線沿いおよび前弧領域の塩水の調査・サンプリング・分析を進めると同時に、これまで得られた塩水組成の解析、およびコンパイルデータの解析を行い、広域的に熱水の種類と分布の解析を開始する。

応力場と物性：鳥取県西部地震の余震域南部で見られた主応力軸の回転について本震滑りによる応力変化との比較などを行いその要因を定量的に検証し、断層周辺の絶対的な応力レベルについての検討を行う。物性については、下記 2 点を進める。

(1) アルミナ多結晶体を用いたクラック・パーコレーションの検証:

平成 28 年度のクラック・パーコレーションに関する理論的予測を検証するため、クラック密度をコントロールした含水試料の電気伝導度測定を行う。クラック密度が低く、クラックの連結した経路が存在しない状態から、クラック密度が増えて連結した経路が存在する状態へと変わるとき、大きな電気伝導度変化が期待される。通常の岩石内ではクラックの連結経路が存在しているので、クラックのない人工のアルミナ多結晶体を試料として使用する。熱膨張率の異方性のため、加熱によって熱クラック（開いた粒界）を生じさせることができる。弾性波速度からクラック密度を求め、電気伝導度との関係を調べる。

(2) ガス浸透率、弾性波速度の同時測定によるクラック連結度の研究:

ガス浸透率に基づいてクラック密度とクラック連結度との関係を調べる。含水岩石の電気伝導度測定では、クラックがどれだけ液体で満たされているかということが不確定要素として残った。ガス浸透率を連結度の指標として用いれば、このクラックの飽和度の問題を取り除くことができる。封圧下でガス浸透率と弾性波速度の同時測定を行い、クラック密度の変化に伴ってクラック連結度がどのように変化するかを調べ、含水試料の電気伝導度から得られる結果と比較する。

流動・変形場：熊本地震の解析において平面断層の近似はかなり粗い。体積震源を用いたインバージョン解析手法を新たに開発することによって今年度の成果をさらに発展させ、弾性歪みと非弾性歪みの分離に向けてその準備を進める。

統合モデル：2次元対流モデルの高精度化をはかる。特に、非一様メッシュでの対流コードの開発に取り組む。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所（飯尾 能久、深畑 幸俊）

他機関との共同研究の有無：有

富山大学（渡辺 了）

神奈川県温泉研究所（行竹 洋平）

東京工業大学・海洋研究開発機構（中村 仁美、岩森 光）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：0774-38-3348

e-mail：

URL：

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：飯尾能久

所属：京都大学防災研究所地震予知研究センター

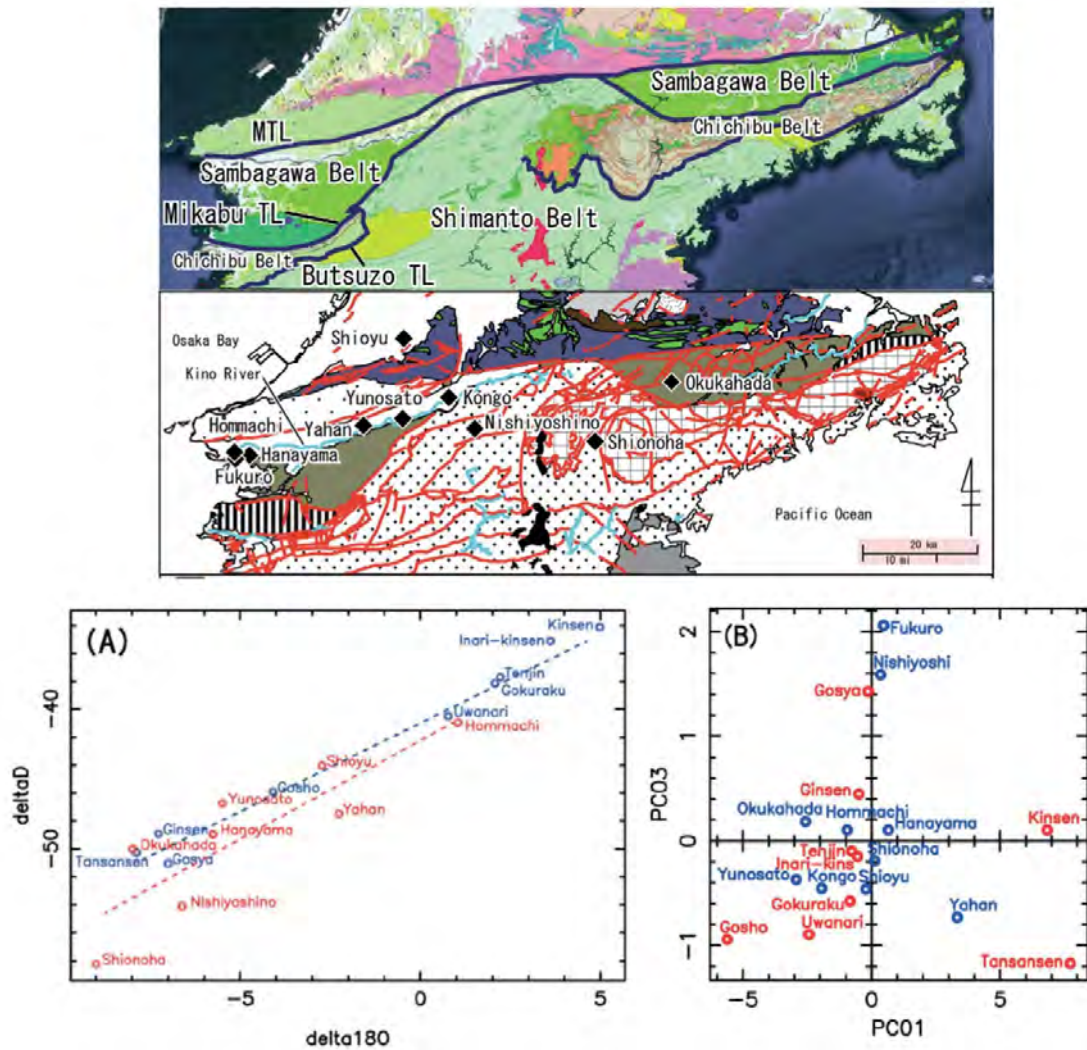


図 1

紀伊半島の中央構造線およびその南部に分布する塩水型あるいは炭酸型の温泉サンプリング地点の分布(上)。化学組成(A: $18O$ と D)およびREEの統計解析(B:平均濃度レベルを表す主成分PC01と母岩からのREEの溶出を表す主成分PC03)。赤は有馬地域、青は紀伊半島のデータを表し、概ね同様の傾向・範囲を示すことがわかる。

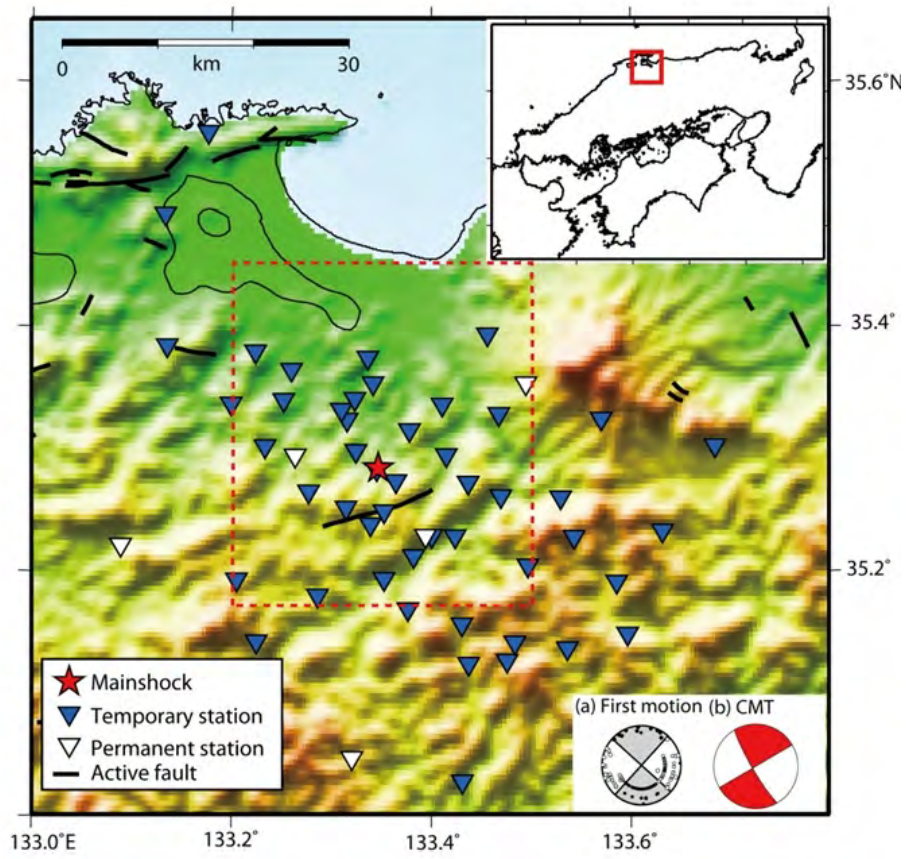


図 2
2000 年鳥取県西部地震余震域における稠密観測点の分布。

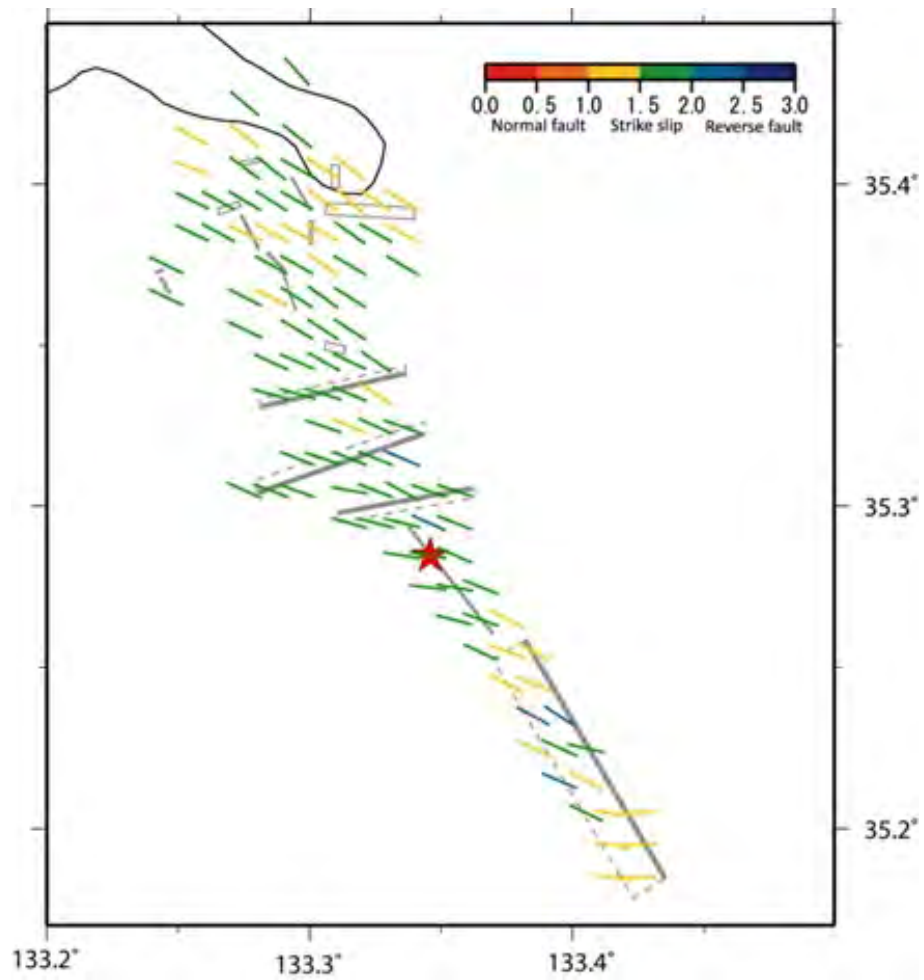


図 3

余震発震機構解から得られた断層周辺の水平最大主圧縮応力軸 (h_{max}) の方位分布。カラーは Simpson(1997) の定義による応力タイプを示す。

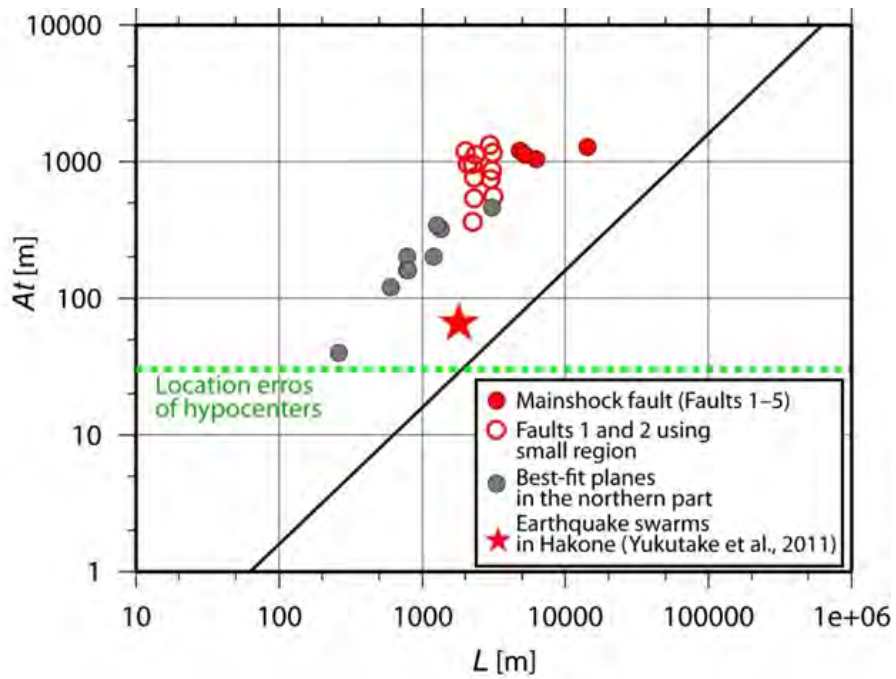


図 4

余震分布から求めた断層長さとの関係 (Yukutake and Iio, under review)。赤丸は本震断層周辺に発生した余震分布、灰色丸は余震域北部で発生した余震分布に対応。星印は箱根火山で発生する群発地震の震源分布から求めた断層長さとの関係を示す。黒線は断層露頭観察により得られた断層長さとの関係 (Vermilye and Scholz, 1998)。

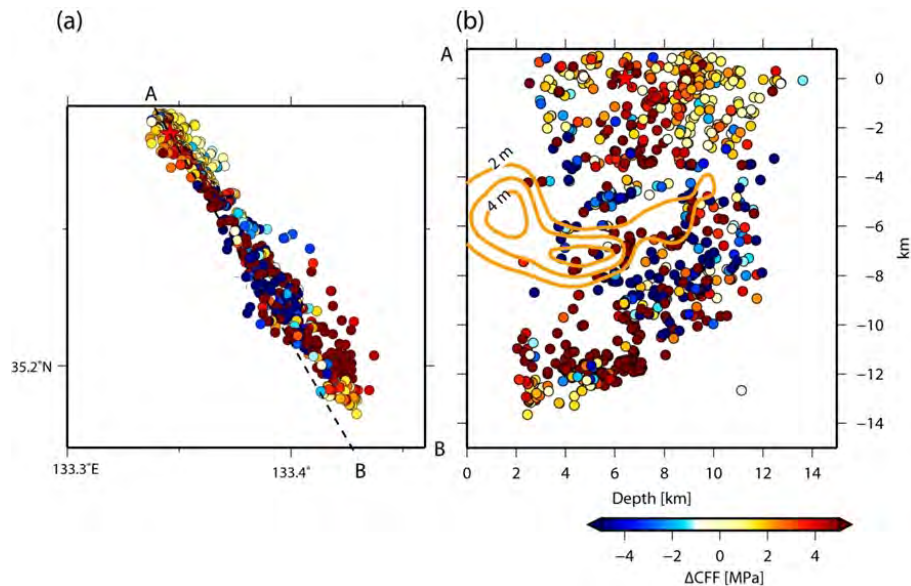


図 5

余震域南部での余震メカニズム解節面に作用する CFF (Yukutake and Iio, under review)。コンターラインは Iwata and Sekiguchi (2002) により推定された、本震時の滑り分布を示す。

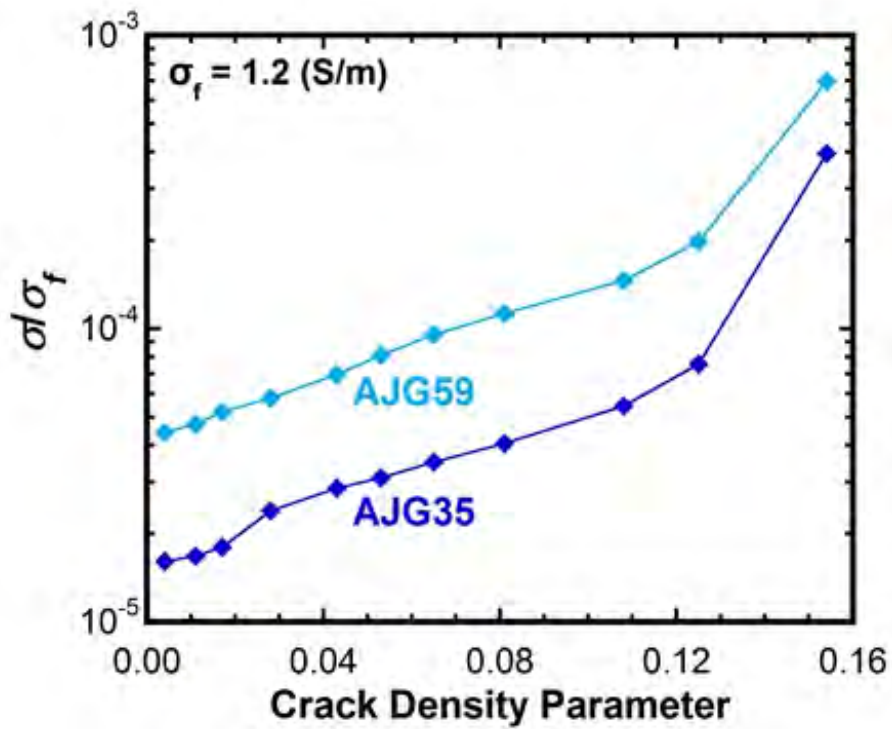


図 6

含水花崗岩の電気伝導度とクラック密度の関係。クラック密度は弾性波速度から推定した。電気伝導度は間隙流体の電気伝導度で規格化している。

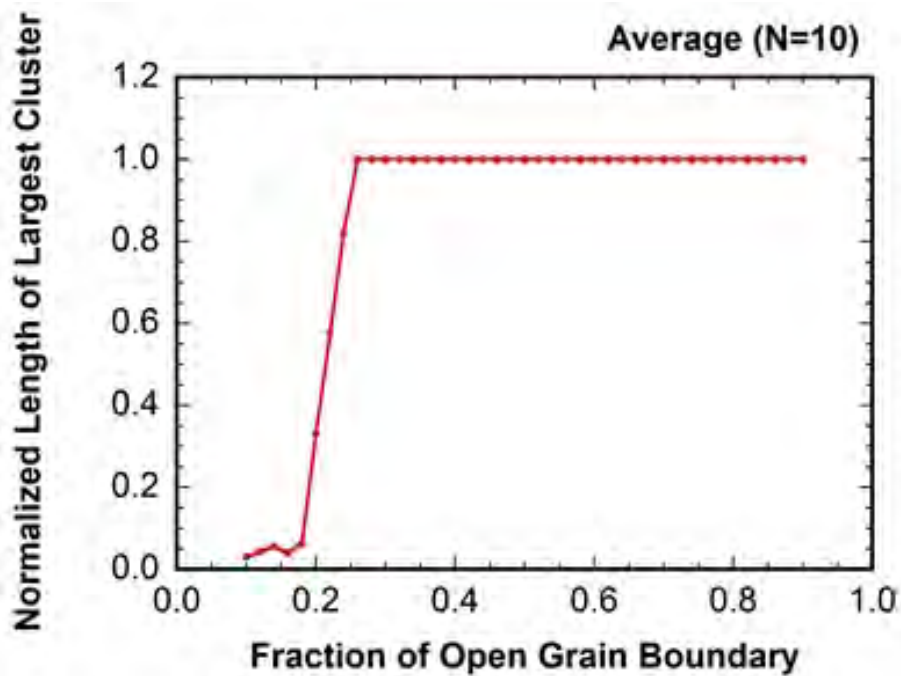


図 7

立方体粒子の集合における、開いた粒界のつくるクラスターの最大長（集合のサイズで規格化）と開いた粒界の割合の関係。

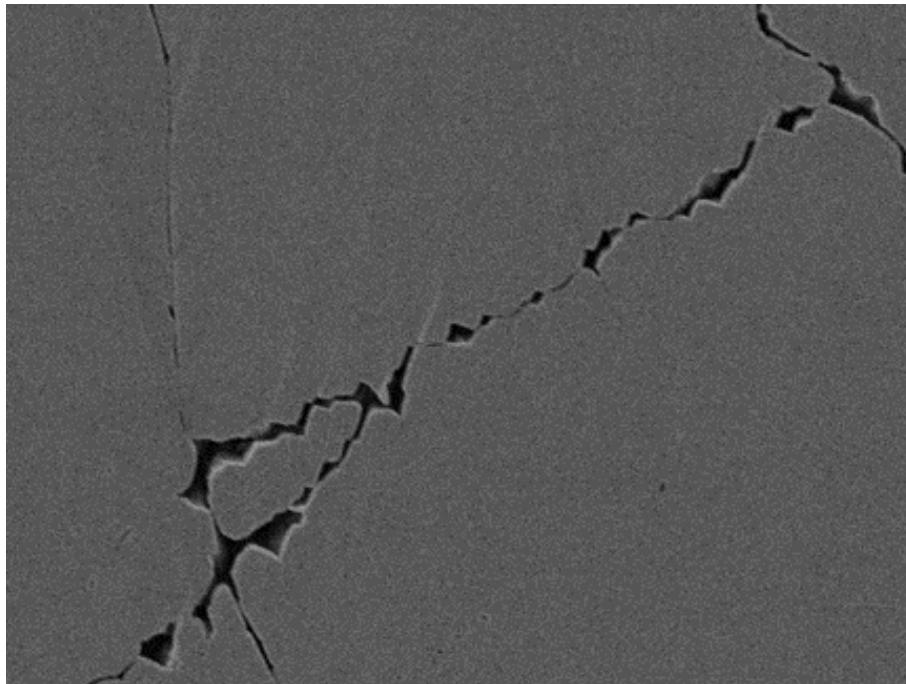


図 8
BIB により研磨した花崗岩表面の SEM 画像 (横幅が 50 ミクロン)

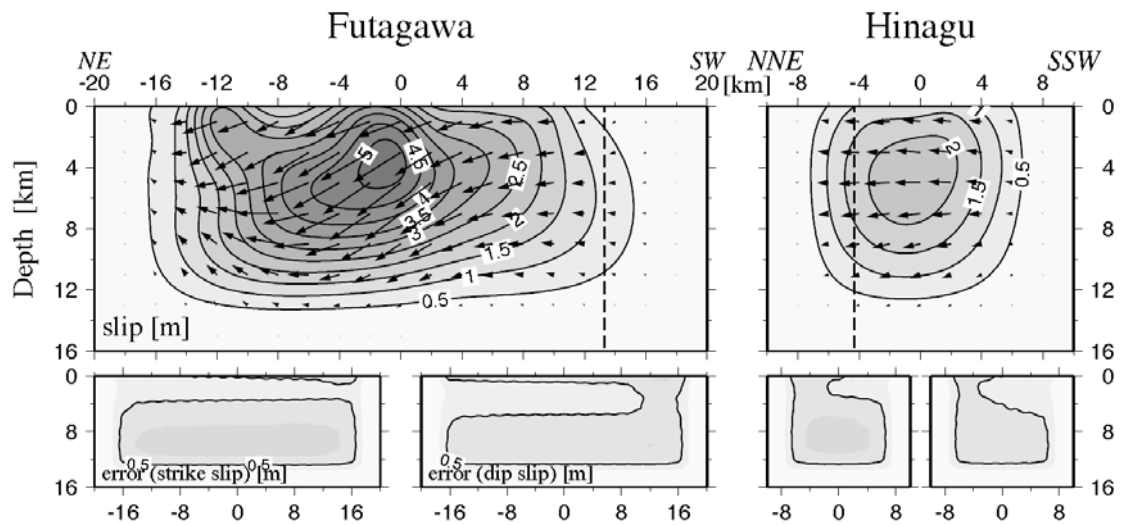


図 9
2016 年熊本地震の滑り分布 (Fukahata and Hashimoto, 2016)。垂直に伸びる破線は、もう一方の断層との交線を示す。下段の図は、各断層の各成分 (左 : 横ずれ成分、右 : 縦ずれ成分) に対する標準誤差を表す。コンター間隔は上下段の図とも 0.5m。布田川断層は横ずれが卓越するが、断層中央から阿蘇寄り浅部に顕著な正断層成分も持つ。阿蘇カルデラ ($x=-10$ km) の内側にも地表付近で 3 m 超のすべりの極大がある一方、日奈久断層との交線以西では滑りが少ない。日奈久断層は、ほぼ純粋な横ずれ。

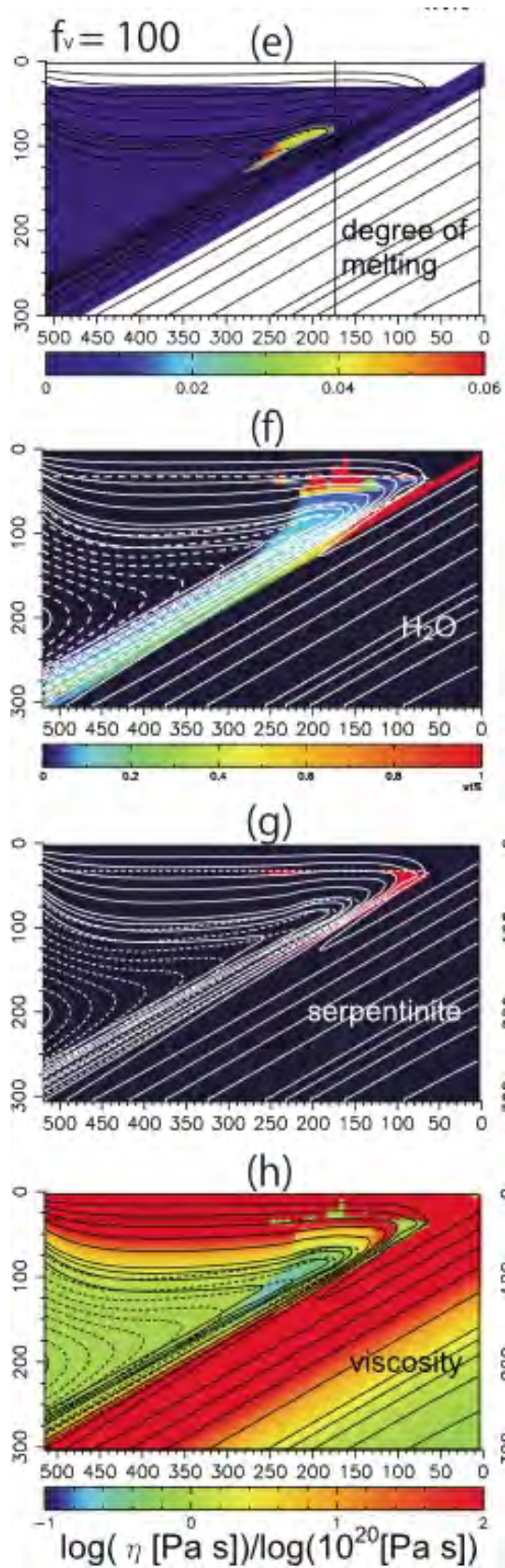


図 10

東北日本下の水溶液の生成・移動・固相との反応を含む 2 相対流のモデル結果 (Horiuchi and Iwamori, 2016): (e) メルト分布、(f) H_2O 分布、(g) 蛇紋岩分布 (赤い部分)、(h) 粘性率分布。実線は等温線、破線は流線をあらわす。(e) の縦線は、火山フロントのおよその位置を表す。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

注水実験による内陸地震の震源断層の詳細な構造と回復過程の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

野島断層において第 2 回目の 1800m 深度注水実験を実施する。第 1 回注水実験(2013 年実施)と合わせて、震源断層の透水性構造、および震源断層から分岐断層にいたる詳細な破碎帯(透水性)構造を推定する。震源断層における透水性の経年変化を検出し、野島断層(震源断層)の強度回復過程について検討する。1800m 深度注水に伴う誘発地震を検出し、誘発地震の発生過程および詳細な断層構造と地震発生特性について解明する。野島断層および他の活断層(震源断層)について、断層深部構造(特に走向方向の構造不均質性)と本震時の破壊過程および回復過程に関する特性を抽出する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

野島断層での第 1 回目の 1800m 深度注水実験(2013 年 9 月)について、観測データの解析・モデリングを深化させる。まず、震源断層を深さ約 400m において貫通する 500m 孔での地下水位データについて、注水に伴う微小な変動を抽出し、拡散過程モデリングにより震源断層の透水係数を推定する。800m 孔底における歪み変動、地下水位変動、地表で測定された自然電位データについてもさらにモデル化を進め、野島断層の震源断層から分岐断層にいたる断層帯全体の透水性構造、および注入水の挙動を推定する。これにより、従来の 540m 深度注水に対して行った 800m 孔歪変動および地下水位変動のモデリング解析(拡散過程モデル)の改善・高度化へのフィードバックを行う。

第 2 回目の 1800m 深度注水実験を 5 年度目(平成 30 年度)に実施する。野島断層の震源断層(最上部)の透水性構造の時間変化を検出し、強度回復過程について検討する。

野島断層上盤側の地表岩盤に設置されたアクロス震源の連続運転を実施する（各年度約2ヶ月間）。これにより、従来検出されていたアクロス震源～800m孔底地震計間の地震波の走時・振幅の経年変化についてさらに検証する。S波偏向異方性の測定も合わせて行い、地震波の走時や振幅変動の要因となる野島断層近傍の構造特性について検討する。

1800m深度注水に伴う誘発地震（極微小地震）の発生を検出する。1800m孔地震計の高速（10kHz）サンプリング波形の解析により、誘発地震の震源過程（震源パラメータおよびそのスケージング、初期破壊過程、等）を推定する。地表に設置する地震観測点も含めて高精度の震源決定を行い、断層トラップ波の解析とも合わせて、断層破砕帯と誘発地震の位置関係を明らかにする。誘発地震および定常地震活動について、800m孔地震波形の相互相関係数等にもとづいて震源精度以上に高い精度の震源分布特性（震源クラスター構造）を明らかにする。これらの結果に基づき、注水誘発地震および定常地震活動について、震源過程および発生特性の違い、およびそれらと断層微細構造との関係を明らかにする。

注水実験によらない地震学的な手法（地震波散乱係数やS波偏向異方性の経年変化）からも地震発生後の震源断層の回復過程を検出できる可能性がある。野島断層および最近発生した内陸地震の震源断層を対象として、断層深部構造（特に走向方向の構造不均質性）、本震時の破壊過程と回復過程の関係を系統的に調べる。

年度毎の計画概要は以下のとおり。

26・27年度：1800m深度注水実験（第1回）データの解析・モデル化、ボアホール連続観測・データ解析（地震、地殻変動、地下水）、アクロス連続運転、野島断層等の深部不均質構造および回復過程の地震学的解析

28・29年度：ボアホール連続観測・データ解析（地震、地殻変動、地下水）、アクロス連続運転、野島断層等の深部不均質構造および回復過程の地震学的解析

30年度：1800m深度注水実験（第2回）の実施および解析・モデル化、地震臨時観測・自然電位観測、アクロス連続運転、ボアホール連続観測・データ解析（地震、地殻変動、地下水）、野島断層等の深部不均質構造・回復過程の取りまとめ

（8）平成28年度の成果の概要：

1．これまでの注水実験（1800m深度および540m深度）データの解析

これまで野島断層において実施した540m深度注水実験（1997年～2009年）について、800m孔で測定された地下水データの系統的な再解析を行い、野島断層近傍岩盤の透水係数の経年変化をより精度良く推定した。再解析では、水圧計の交換（2006年）にともなう感度の再検定、湧水量と水位（水圧）の変換における気圧応答の再推定、比貯留係数を一定とした拡散係数の推定などを行った。野島断層近傍岩盤の透水係数が、1997年から2003年頃にかけて急速に低下したことは従来の解析結果と同じであるが、透水係数の低下率は従来（30～37%）よりも小さく推定された（44%）。また、2003年から2006年にかけての透水係数の増加傾向はより明瞭となった（図1）。

1800m深度での第1回注水実験（2013年9月）では、地表で観測された自然電位変動は明瞭ではなく、また一部の電極では従来の540m深度注水実験とは逆センスの変動が観測された。昨年度、一昨年度に引き続き、この自然電位変動についての統一的な理解のため、従来の540m深度注水実験も含めた再検討を行った。1997年、2000年、および2003年の注水実験では、注水に伴う自然電位変動には次の3つの特徴が見られた：1)注水の開始・停止に同期した変動、2)注水孔（1800m孔）周辺では電氣的に負の変動、3)変動の大きさは注水孔からの距離が離れるほど小さくなる。しかし、2004年以降、とりわけ2006年の実験では特徴の2)、3)とは異なる変動が観測されるようになった。すなわち、注水孔から30m～50m離れた電極では変動の極性が逆（電氣的に正）となった。これは、従来の1800m注水孔を線電流源とするモデル（LSM）では説明されないため、一昨年度は、正の電荷が注水孔から一定の距離に環状に分布する環状電流源（CSM）をLSMに重ね合わせるモデルを検討した。昨年度は、双極子型の電流源をLSMに重ね合わせるモデルを検討した。今年度も引き続き、電気双極子を配

置したモデルを検討した。電気双極子のイメージは、例えば電気特性の異なる境界面があり、そこを水が横切の場合に相当する。モデル計算の結果は、注水孔からの距離 30m 以遠で LSM モデルに比べて正の電位変動が大きくなるような測定データを表現できているが、遠方の電極を基準とした場合に、この領域の電位が正になる特性は再現されていない。今後は LSM を仮定した場合の変動と、ローカルな変動とに分離して、LSM の妥当性について検証を行う予定である。一方、2013 年の 1800m 深度注水実験で自然電位変動が明瞭には観測されなかった点を検討した。LSM モデルの場合、ケーシング・パイプは周囲の岩石と比べて電気伝導度が大きいので、パイプ上のどこかで発生した流動電位はパイプ全体に伝わり（近似的に等電位面と考える）発生する流動電位の大きさが同じであれば水の流出深度には関係なく同じ大きさの電流源として作用することが期待される。可能性としては、1800m 深度の断層破碎帯の水理係数が大きい、あるいは破碎帯の粘土鉱物のゼータ電位が小さいことにより、いずれの場合も流動電位が発生しても小さくなることが考えられる。注水実験の前に揚水を行って深部の水を採取する、あるいは 1800m 孔は自噴しているのでその水を採取して化学分析をおこなうことが必要と考える。

その他、1800m 深度注水実験に関しては、極微小地震の活動変化の再検討、波形相関を用いた極微小地震の震源クラスター構造の解析なども行った。

2. アクロス連続運転による野島断層近傍の地震波伝播特性の測定：

2016 年 11 月 28 日から 2017 年 1 月 30 日までの約 2ヶ月間、野島断層近傍の地表岩盤に設置されたアクロス震源の連続運転を実施した。過去 14 回の連続運転（1999 年 6 月～2016 年 3 月の期間に各回 1～2ヶ月間実施）と同じパラメータで運転し、アクロス震源と 800 m 孔底地震計の間の伝達関数から P 波および S 波の走時と振幅の経年変化を推定した。いずれの連続運転においても共通の周波数帯の応答を取り出して比較することにより、1999 年～2017 年にかけての経年変化を推定した。ただし、今回の実験期間中に収録された 800m 孔地震計データについて、上下動地震計の応答に異常が確認されたため、1999 年以降の全ての実験においても水平動地震計のみを用いて解析し直した。P 波および S 波の走時と振幅の経年変化を図 2 に示す。P 波走時の変動について、昨年度までの上下動地震計を用いた解析ほど明瞭ではないが、ほぼ同様の経年的な速まりが認められる。S 波走時は各期間で 1 ms 程度のばらつきを持つものの、全体として 1999 年～2017 年にかけて約 2 ms ($2 \text{ ms} / 500 \text{ ms} = 4 \%$) 程度速くなる傾向がある。S 波の振動方向による違いは特に見られない。P 波走時はばらつきが大きいものの（約 2 ms）、全期間で約 4 ms ($4 \text{ ms} / 250 \text{ ms} = 1.5 \%$) 程度速くなっている。振幅には 10 % 程度のばらつきがある。2011 年以降については、S 波走時の変化がほとんどないのに対して、P 波走時は概ね速くなる傾向がある。後続波部分についても、上記と同じ伝達関数を用いて走時の経年変化を推定した（図 3）。走時のばらつきが大きいものの数%程度速まる傾向がある。これは P 波の変動よりは小さい。以上の結果は、長期的には、断層近傍でのクラック密度の減少による地震波速度の増加（強度回復）を示唆している。2011 年以降の実験で、S 波走時の変化が小さい一方で P 波走時が速くなっていることは、例えば、これらの期間ではクラック密度は変化しないままクラックの水飽和率が増加した等、水の動きが関与している可能性が示唆される。

3. その他

その他、1800m 孔、800m 孔および 500m 孔における地震、地殻変動、地下水の連続観測を継続するとともに各種の基本的な解析を行った。また、野島断層および他の内陸地震の震源断層や活断層について、深部構造やその不均質性、本震における破壊過程等の検討を行った。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
Kitagawa Y. and Y. Kano, Changes in permeability of the Nojima fault damage zone inferred from repeated water injection experiments. Earth Planets Space 68:185 DOI 10.1186/s40623-016-0566-2, 2016.
村上英記, 野島断層注水実験に伴う自然電位変動の原因, 日本地球惑星圏科学連合 2016 年大会, SEM35-P08, 2016 年 5 月 25 日（千葉市）.
村上英記, 2013 年野島注水実験で自然電位変動が観測されなかった原因について, 第 140 回地球電磁

（10）平成29年度実施計画の概要：

野島断層での第1回目の1800m深度注水実験（2013年9月）について、観測データの解析・モデリングを深化させる。震源断層を深さ約400mにおいて貫通する500m孔での地下水位データ、および800m孔底における歪み変動、地下水位変動、地表で測定された自然電位データについてモデル化を進め、野島断層の震源断層から分岐断層にいたる断層帯全体の透水性構造、および注入水の挙動を推定する。これにより、従来の540m深度注水に対して行った800m孔歪変動および地下水位変動のモデリング解析（拡散過程モデル）の改善・高度化へのフィードバックを行う。

野島断層上盤側の地表岩盤に設置されたアクロス震源の連続運転を実施する（約2ヶ月間）。これにより、従来検出されていたアクロス震源～800m孔底地震計間の地震波の走時・振幅の経年変化についてさらに検証する。S波偏向異方性の測定も合わせて行い、地震波の走時や振幅変動の要因となる野島断層近傍の構造特性について検討する。

注水実験によらない地震学的な手法を用いて、野島断層および最近発生した内陸地震の震源断層や活断層を対象として、断層深部構造（特に走向方向の構造不均質性）、本震時の破壊過程と回復過程の関係を検討する。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

西上欽也・大志万直人・吉村令慧・加納靖之（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所（山野 誠）

名古屋大学環境学研究科（山岡耕春・田所敬一）

静岡大学理学部（生田領野）

金沢大学理工研究域自然システム学系（平松良浩）

高知大学理学部（村上英記）

大阪市立大学理学部（山口 寛）

奈良産業大学情報学部（向井厚志）

産業技術総合研究所（北川有一・小泉尚嗣）

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所地震予知研究センター

電話：0774-38-4195

e-mail：nishigami.kinya.3r@kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/idoi/kaibo/

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西上欽也

所属：京都大学防災研究所地震予知研究センター

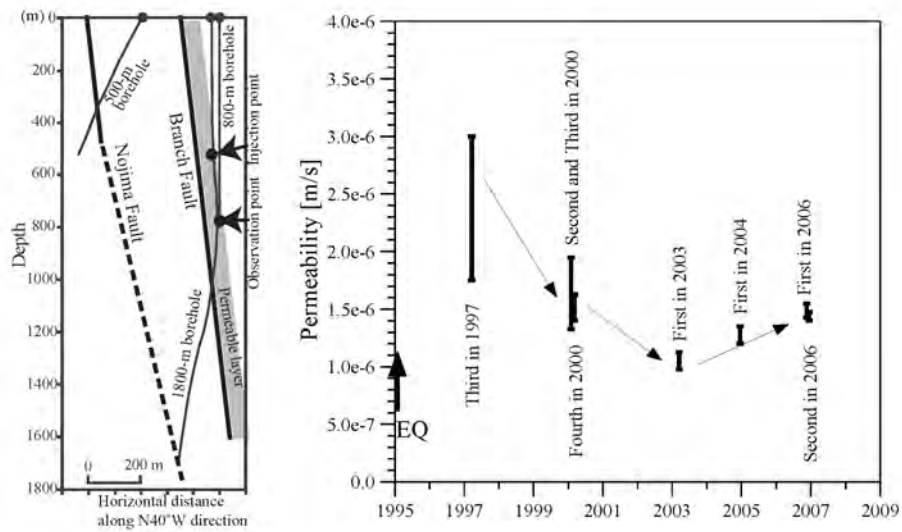


図 1
540m 深度注水実験 (1997 年 ~ 2006 年) における地下水測定データの再解析による透水係数の経年変化。

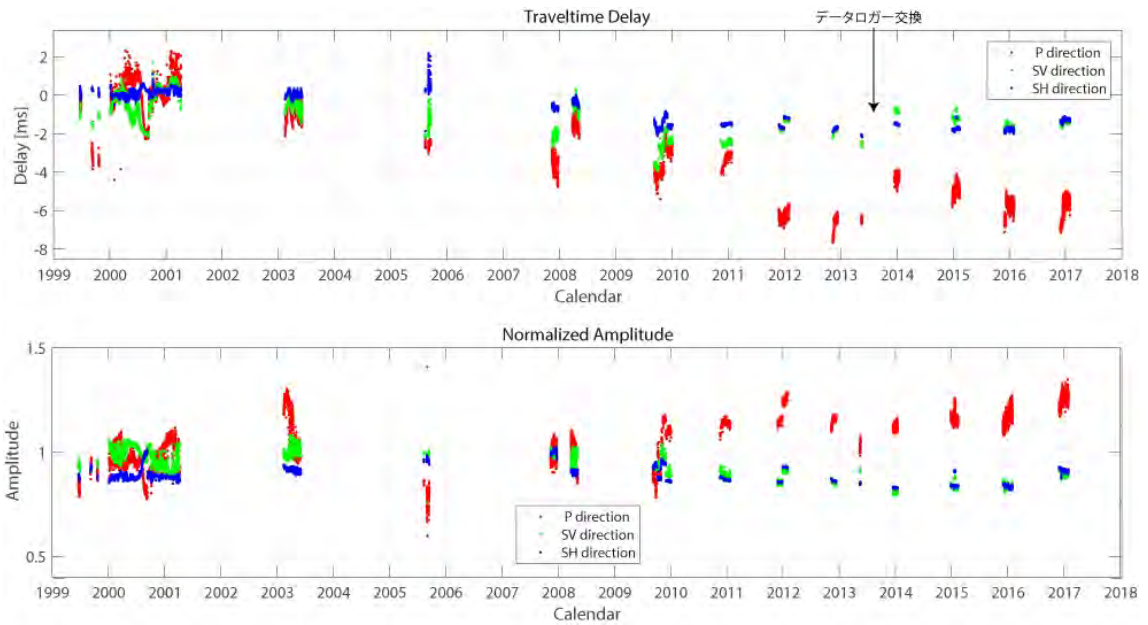


図 2
1999 年 6 月 ~ 2017 年 1 月にかけてアクロス連続運転により測定された、野島断層近傍における直達波 (P 波および S 波) の走時 (上) および振幅 (下) の時間変化。走時の遅れについては 2000 年 1-12 月を基準とし、振幅比については 2007 年 11-12 月を基準とする。赤、緑、青はそれぞれ、P 波、断層に直交する S 波、および断層に平行な S 波。

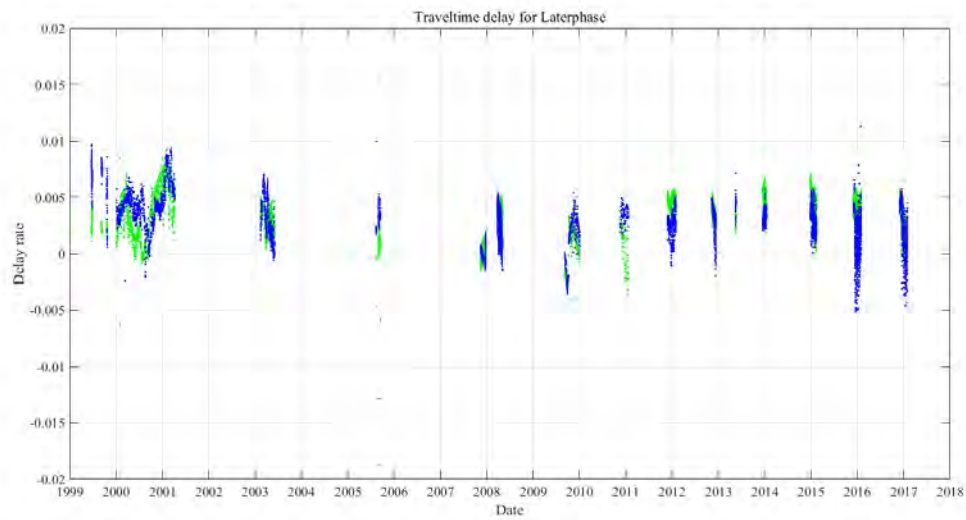


図 3

1999年6月～2017年1月にかけてアクロス連続運転により測定された、後続波部分の走時の時間変化。2007年11-12月を基準とした走時遅れの割合を示す。緑と青はそれぞれ、震源方向の水平成分、震源直交方向の水平成分。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

横ずれ型の内陸地震発生の物理モデルの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

横ずれ型の内陸地震を主な対象として、断層への応力集中機構のモデル化、断層の強度低下のメカニズム解明、地震活動変化のメカニズム解明等を行い、長期的な発生予測手法の改善につなげることが本研究全体としての到達目標である。以下に手法毎の到達目標の概要を述べる。

跡津川断層周辺の変形パターンが断層走向方向にどのように変化するかを明らかにして、横ずれ型の活断層のモデル化に反映させる。複数の微小地震活動域において、高精度の地下構造および応力分布を求め、他のデータと合わせて総合的に解析し、内陸地震の発生場の特徴を解明する。比抵抗構造研究により、内陸地震の断層の端の状態を解明し、断層の端に、地震の規模を規定する不均質構造があるのかどうかを検証する。四国地方を中心に基盤的な地殻・マントル上部の比抵抗構造研究を行い、主にフィリピン海スラブ周辺の物性状態の解明、さらには、定量的内陸地震発生モデルの構築等に貢献する。御嶽山周辺域で観測された高密度な地震データから、地震メカニズムトモグラフィ法により三次元間隙流体圧場を推定し、内陸地震の発生における間隙流体の役割を理解する。過去の歴史記

録等から明らかになっている南海トラフ巨大地震前後の西南日本における内陸地震活動の活発化について、現実的なモデルを用いた数値シミュレーションを通して活発化のメカニズムを考察することにより、今後数十年間に内陸地震の発生可能性の高い場所についての検討を行う。近年発生した内陸地震の前後の地震活動と地殻変動データの時間変化を詳細に解析し、地震活動変化のメカニズムを解明するとともに、確率予測が可能になるような統計モデルの提案を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題においては、地震、地殻変動、電磁気観測・解析、数値シミュレーション、地震活動解析など、色々な手法を活用するとともに、個別に得られた結果を総合することにより、目標の達成を計る。以下に、手法別に5か年計画の概要を述べる。

・地殻変動とモデリング：

跡津川断層周辺を対象としてGPS観測とInSAR解析を実施する。GPS観測から得られた変位場を用いてInSAR干渉画像中の長波長ノイズを軽減することにより、高精度かつ高空間分解能の面的な地殻変動分布を明らかにする。

・比抵抗観測とモデル化：

長野県西部地震震源域の南西端周辺において可聴域MT観測を行い、北東域の既存稠密観測データと統合して、震源断層全体を包括する領域について三次元比抵抗構造を推定する。基盤的比抵抗構造研究として、主に四国地方の比抵抗調査空白域において広帯域MT観測を行い大局的な比抵抗構造の地域特性を解明する。

・地震観測とモデル化：

近畿地方北部、山陰地域、長野県西部地震震源域等において実施中のオフライン臨時観測装置を用いた稠密地震観測を継続し、定常観測網の地震波形データと統合処理して、3次元地震波トモグラフィ、レシーバ関数解析、反射波解析による地殻構造解析を行う。また、極微小地震をも含んだ大量のメカニズム解を決定し、それを基に詳細な応力場を求める。電気比抵抗構造や表層地質等の情報も合わせて、活断層の分布やそれによる内陸大地震、また常時発生す定常的な地震活動の地域差が、どのような物理的要因によって支配されているかを解析・考察する。

・間隙流体圧場の推定：

名古屋大学定常観測等の地震波形データから、詳細な地震の震源分布とメカニズム解を推定しデータを蓄積する。これらのデータから御嶽山周辺域のテクトニック応力場と間隙流体圧場を三次元的に推定し、内陸地震の発生や地震火山相互作用について考察する。

・西南日本活動期のシミュレーション：

計算機上で南海トラフにおける固着と滑りや東北日本と西南日本間の東西圧縮、内陸活断層におけるすべり相互作用を考慮して、大規模計算手法を用いた現実的な数値モデルを構築する。数値モデルを用いて、西南日本内陸における応力場の変化や内陸活断層におけるクーロン応力を計算することによって、南海トラフ巨大地震と西南日本内陸地震の活発化・静穏化の因果関係を解明するとともに、現在の地殻活動の再現と今後の予測を試行する。

・地震活動変化：

内陸大地震の発生前の地震活動変化はゆっくりすべりによる応力変化(CFS)に起因するという説を、GNSS観測データの解析や地下構造や応力場のデータも含めて検証する。北摂・丹波地域における地震活動と大地震との関係や活動変化の原因について、地震メカニズム解や地下構造等の解析により、解明を試みる。さらに、地震活動の異常性を業務的に捉えられるようなモデルとそのソフトウェアを開発し、確率予測が可能になるような統計モデルの提案を目指す。

(8) 平成28年度の成果の概要：

・地殻変動とモデリング：

GNSSデータを用いて、跡津川断層近傍における東北地方太平洋沖地震前・地震時・地震後の地殻

変動パターンを求め、互いに比較した。解析には国土地理院の GEONET に加えて、大学が設置した観測点も用いた。地震前については時系列解析により年周・半年周変動を除去し、定常速度場を求めた。地震後については 2014 年 11 月 25 日から 2016 年 7 月 2 日を切り出し、地震前と同じ手法で定常速度場を求めた。地震時については 2011 年 3 月 1 日～6 日および 2011 年 8 月 2 日～7 日それぞれ 5 日間の座標平均を計算し、それらの差から変位を求めた。これらの変位・速度から Shen et al (1996) の手法を用いて歪・歪速度場を求めた(図 1・2)。地震前・地震後とも跡津川断層およびその東西両端の火山地域に歪速度が集中している。弾性歪を示す地震時歪は、地震前および地震後の歪速度場と全く異なる空間パターンを呈する。地震前・地震後に見られる歪速度の局在域では非弾性歪が進行していることが示唆される。次に、地震前と地震後を比較すると大局的には良く似ている。このことは、東北沖地震(および余効変動)によって日本列島全体の歪速度が大きく変わっても、跡津川断層近傍の非弾性変形は変わらず進行しており、本質的には長い時間スケールで蓄積した絶対応力により駆動されていることを意味する。一方、細かく見ると飛騨山脈南部や御嶽山東方では地震前後で歪速度の時間変化が見られる。これらの特徴は、地震後の歪速度場から余効変動の影響を除去した上で精査する必要がある。

・比抵抗観測とモデル化：

2014 年度以降、四国地方の比抵抗調査空白域において大局的な比抵抗構造の地域特性を解明するために、経度及び緯度方向に 10 分毎のメッシュを設定し、基盤の比抵抗構造研究を進めている。

2016 年度は、前年度に引き続き、夏期までに未測定エリアにおいて土地の現況ならびにノイズ状況に関する予備調査を行い、その結果をふまえ、10 月中旬から 11 月末日にかけて、四国地方中央部の南部地域(2 地点、主に四万十帯北帯)と北部地域(東部ならびに西部の中央構造線を挟む地域で、6 地点)において計 8 地点で、自然界に存在する微弱な電磁場変動を信号とする広帯域 MT 法観測を実施した(図 3a)。今回も特定の地域を重点的に実施したわけではなく、四国全域にわたり予備調査の済んだエリアを順次観測した。結果として、東部および西部の中央構造線周辺域と中央部の南部域でおおよそ 3 点ずつが選定された。広帯域 MT 法観測にはフェニックス社製の測定器 MTU-5 及び MTU-5 A を使用し、原則として、地磁気 3 成分と電場 2 成分を測定した(ただし、測定地点の制約により、四国地方の観測点 INB では電場 2 成分のみが測定された)。

観測により得られた四国地方の見かけ比抵抗探査曲線及び位相差曲線を図 3b 及び図 3c に示す。見かけ比抵抗曲線をもとに探査曲線の特徴をみると、周期数秒から長周期帯域では探査曲線の推定誤差が大きい場合がある。これは、いずれの地域も近隣に JR 予讃線や土佐電気鉄道が稼働しているため、その軌道からの漏洩電流の混入による影響を受けたためと考えている。このような状況のもと、周期 10 秒以上の長周期帯にかけて連続したデータを得た点が半数程度ではあるが、特に、南部地域では、これまでの観測で指摘された特徴、すなわち、周期数 10 秒から 100 秒あたりで最小値を示すという傾向が、共通してみられることが確認された。一方、中央構造線周辺域の観測点においては、探査曲線の推定誤差を考慮しても、上述の傾向が見られない探査曲線となった。

これらのデータならびにこれまでの観測研究計画により取得された既存データを活用・統合して、試みに、四国中西部地域を地質構造と調和的な N75 °E 走向の 2 次元構造をもつと仮定して Ogawa and Uchida(1996) のコードを用いて構造解析を行った。その結果得られた比抵抗モデルを図 3d に示す。このモデルは予察的なものであるが、上部地殻深度では、中央構造線北側で見られる北傾斜の震源分布と調和する北傾斜の比抵抗構造が示され、また、南部地域ではフィリピン海プレートが高比抵抗領域として示される等、興味深い特徴が示唆された。ただし、中央構造線の北側地域の地下構造は、地震性のフィリピン海プレートの沈み込みの北限を考える上で鍵となるため、今後は 10 秒程度より長周期側の探査データの推定誤差の改善を図る必要がある。

さらに、本事業計画実施中、10 月 21 日の鳥取県中部の地震(M6.6)が発生した。この地震発生を受け、研究計画を一部修正し、断層直下の下部地殻の不均質構造の実態の解明をめざし、中部の震源域を中心とするエリアにおいて震央を横切る測線を設定して、同様の広帯域 MT 観測を新たに追加して実施した(図 4a、)

ところで、この地震の発生域の東方約 10km の地域では、2015 年 10 月以降たびたび地震が発生している上、さらにその東側は 1943 年鳥取地震の地震断層である鹿野・吉岡断層の西方延長域にあたる。このような地域の特徴もあり、2014 年度ならびに 2016 年度鳥取県環境学術研究振興事業および地震・火山噴火予知研究計画事業により、2015 年に発生した鳥取県中部の地震発生域周辺においては、同じく広帯域 MT 観測データが取得されている。ここでは、それらのデータと統合して 2016 年 10 月 21 日鳥取県中部の地震 (M6.6) 震源域周辺の比抵抗データを面的に描いたものを図 4b に示す。この図には、周期 1 秒および 10 秒の周期帯に対して得られた determinant impedance をもとにした見かけ比抵抗値とともに、深度 7km および 15km に関するボスティック・インバージョン解析の結果についても、平面分布図として示されている。この平面図から、深さ 10km 前後に低比抵抗領域の存在を示すエリアが、2015 年の地震発生域から 2016 年の地震発生域に連続する形態をもって帯状に存在することが示唆された。

最後に、本観測では、共同利用の手続きを経て、東京大学地震研究所ならびに京都大学防災研究所が保有する観測機材を使用した。また、日鉄鉱コンサルタント(株)より参照点磁場記録の提供を受け、リモートリファレンス処理に用いたことを記す。

・地震観測とモデル化：

活断層の分布や内陸大地震、また定常的な地震活動がどのような物理的要因によって支配されているかを明らかにするために、地下構造と応力場の関係等を調べモデル化を進めている。これまで、山陰地方の地震帯における浅部の 3 次元地震波速度構造、地震メカニズム解、電気比抵抗構造等の解析から、塩崎・他による低比抵抗域から推定される、地震帯直下の下部地殻内の「やわらかい」領域におけるゆっくりすべりによる直上の地震発生域への応力集中や、2000 年鳥取県西部地震や 1978 年の三瓶山の地震 (M6.1) などの余震域の両端における応力緩和の可能性が示された。今年度は、稠密地震観測により推定された浅部の地震波速度構造に加えて、下部地殻の大局的な速度構造を推定するとともに、鳥取県西部地域から島根県等部地域にかけての広域の応力場を推定して、構造と応力場の関係の解明を進めた。

図 5 に、鳥取県西部・島根県東部地域における地震波速度構造と比抵抗構造の関係を示した。a),b) は、気象庁の一元化の検測値を用いて推定された下部地殻の P 波速度偏差である(津田, 2017)。深さ 25km では、山陰地方の地震帯に沿って中国地方の北半分程度、約 50km の幅の低速度域があることが分かった。解析グリッドは水平には 0.1 度であり、チェッカボードリゾリューションテスト (CRT) によると、中国地方のほぼ全域で 0.2 度幅の速度偏差が再現されるが、山陰地方の海岸線近くでは戻りは悪くなっている。今後さらに解像度を上げる必要があるが、深さ 25km における低速度域の幅が約 50km 程度であることは確かである。下部地殻における変形集中や「やわらかい」領域の幅がこれまで議論となってきたが、下部地殻深部における低速度域の幅を押さえることが出来た。図 5b) の深さ 18km の低速度域は 25km よりも幅が狭く推定されている。図 5c) に、25km および 18km の低速度域の輪郭と深さ 4km の S 波速度偏差を重ねてみた。南部においては、深さ 25km の低速度域は、浅くなるほどその幅が狭く領域が限られるように見える。ここでは示していないが、稠密観測による深さ 10km の低速度域も深さ 18km の低速度域の直上のより限られた領域となっている。一方、島根半島の中海から宍道湖にかけて存在する深さ 4km の顕著な低速度域は、下部地殻へは連続していないようである。塩崎・他による低比抵抗域は深さ 18km 付近が顕著であり、18km の低速度域と調和的に見える。また、平成 26 年に指摘したように、顕著な地震の余震域の両端には浅部の低速度域が存在するように見える。ただし、山陰地方の海岸線近くでは下部地殻での CRT の戻りが悪くなっており、今後の検証が必要である。

図 6 に、鳥取県西部・島根県東部地域における応力場を速度構造に重ねてみた。Kawanishi et al. (2009) は、中国地方全体において 1 の方位はほぼ東西であるのに対して、地震帯直下では西北西-東南東に回転していることを見出し、それを、直下の下部地殻内のゆっくりすべりで説明した。前計画において、島根県東部における応力逆解析から、同様な応力場の回転も推定されていた。今回、稠密地震観測データに加えて 2000 年鳥取県西部合同地震観測データも用いて、鳥取県西部、島根県東部、および

その間の地域にわたる広域の応力場を推定した。鳥根県東部では、以前示されたように、 σ_1 の方位は、大局的には南部で東西、その北側で西北西-東南東から北西-南東に回転、地震発生域の北端付近で再び東西方向に戻る傾向が見られる。鳥取県西部および両者の間の地域でも、大局的には南部で東西、その北側で西北西-東南東から北西-南東に時計回りに回転する傾向が見られる。ただし、この2つの領域では、北端では、 σ_1 の方位は、さらに反時計回りに回転して、南北方向に近づいているように見える。このことは、平成26年度にP軸の方位分布から指摘されていたが、応力逆解析により確認された。

応力場の空間変化と構造との関係を考察する。ここでは、低速度域は上部・下部地殻を問わず、周囲より変形しやすい(やわらかい)と仮定し、その空間分布と応力場の関係を考える。下部地殻の低速度域は、特に25kmの深さでは、地震帯に沿って水平方向に連続している。そのため、下部地殻の「やわらかい」領域に変形が集中し、直上に応力集中が発生して σ_1 の方位が西北西-東南東に回転すると考えられる。一方、鳥取県西部地域の最北部、鳥根半島の中海付近には、南北に近い σ_1 の方位が見られる。そこでは、上部地殻のさらに上半分程度の浅部に限られる低速度域が存在する。低速度異常が大きいのは鳥根半島の東半分であり、水平的にも限られている。この浅部の「やわらかい」領域は空間的に限られ孤立しているため、プレート境界に起因するほぼ一定の遠方応力の下では、つり合った後には変形はほとんど進まないと考えられる。応力緩和のため、「やわらかい」領域はその短軸方向の北北西-南南東方向に縮み、その直下の地震発生域において、南北に近い圧縮応力が加わると考えられる。また、その南側の鳥取県西部と鳥根県東部の間の領域でも、応力場は北へ行くほど北西-南東に時計回りに回転する傾向が見られる。応力場が推定されている領域の北端付近には平行する低速度域も存在する。そこでは、塩崎・他により深さ5~10km付近に低比抵抗域も推定されている。この低速度域も浅部に限られているため、その直下において σ_1 の方位が南北方向に回転する可能性が考えられる。

前計画において、鳥取県西部地域の応力場の空間変化に関して、弾性体の上部地殻と粘弾性体の下部地殻内のweak zoneという単純なモデルで、下部地殻のweak zoneの幅を検討し、30km以上あると解析結果を説明しにくいことを報告している。このときは、浅部の低速度域の効果を考慮していないため、これらを取り込んだモデル化を行う必要がある。ただし、図6に見られるように、深さ25kmの低速度域の拡がりには応力場が推定された領域全体とほぼ同じ大きさであり、幅50kmのweak zoneだけでは結果を説明出来ないと考えられる。図5で見られるように、低速度域は浅くなるほど幅が狭くなる可能性が高く、そのことを考慮したモデル化が必要であろう。そして、その低速度域はさらに浅部でパッチ上になっているように見え、それらは、顕著な地震の余震域の両端を限っていることも、モデル化に含める必要がある。しかしながら、図6において、鳥根県東部と間の領域(図5の一番南の低比抵抗域付近)では、局所的に南北方向の σ_1 の方位となっているように、説明出来ていない応力場の不均一が他にも存在する。今後、稠密観測のデータを活用して、応力場および速度構造の精度と空間分解能を上げる必要がある。

・間隙流体圧場の推定：

御嶽山周辺域の地震活動を理解するために、名古屋大学を含む諸機関の定常地震観測で得られた連続地震波形データ(2016年1月~2016年12月)に対し、WINシステムのイベント自動検出機能を利用した手動波形読み取り処理を行い、4132個の地震の震源を決定した(図7)。これらの中には、2014年御嶽山噴火以降に継続して発生している火山性地震の震源513個が含まれる。また、手動波形読み取り処理によるP波初動の押し引き分布とS/P振幅比をデータとし、Hardebeck & Shearer (2003)の手法による計算コードHASHを用いて2882個の地震のメカニズム解を推定した。火山性地震についても、148個の地震のメカニズム解が得られた(図8)。

次に、地震メカニズムトモグラフィー法(Terakawa et al., 2010, 2014)により、御嶽山周辺域の間隙流体圧分布を調べた。この手法では、応力場に対する地震の断層運動の向きを調べて間隙流体圧場を推定するため、精度の高いメカニズム解と信頼のおける応力場の情報が必要となる。これまでに、御嶽山周辺域の間隙流体圧分は、Terakawa et al. (2013)により、名古屋大学の臨時地震観測(2009年8-11

月、2010年6月-11月、2011年6-11月)及び定常地震観測(2012年5-8月)で得られた地震のメカニズム解から推定されている。しかし、この研究では、参照する応力場としてF-netのカatalogデータ(1997年1月~2007年1月)に基づく日本列島全域を対象とした空間解像度20km程度の広域応力場(Terakawa & Matsu'ura, 2010)を用いている。数km程度の解像度で間隙流体圧分布を求めるためには、より高解像度の応力場が必要である。

本研究では、名古屋大学の定常地震観測で得られた地震のメカニズム解(2012年5月~2014年7月、 $M > 1$)から推定された解像度2-5km程度(以後、解像度5kmと省略する)の広域応力場(Terakawa et al., 2016)を用いて、Terakawa et al. (2013)と同じデータセットから間隙流体圧場を推定し、基にした応力場の違いによる間隙流体圧場の推定結果への影響を調べた(Terakawa et al., in prep.)。図9及び図10は、2つの解析による間隙流体圧分布の推定結果を10kmの空間変動パターンで表示したものと、それぞれの推定誤差を表したものである。推定誤差の比較的小さい領域で両者を比較すると、御嶽山南東麓の長野県西部地震の震源域東部域や東麓の群発地震発生域の深さ7.5kmで結果が有意に異なるが、それ以外は推定誤差を考慮すれば比較的良好に合っており、間隙流体圧のレベルは静水圧状態を10-30MPa程度上回る結果となった。

同じデータを用いた2つの解析で有意な違いが生じる原因は、仮定した応力場の違いである。F-net Catalogによる解像度20kmの広域応力場と名大定常観測データによる解像度5kmの広域応力場を比較すると、どちらもこの地域の大きな特徴(北西-南東に最大圧縮軸を持つ横ずれ型の応力場)を推定している。しかし、両者の応力テンソルの内積をとって比較すると、御嶽山の東麓~南麓では主応力軸の向きで平均50度程度差がある(図11)。このため、地震メカニズムトモグラフィー法による2つの解析結果は、北麓での間隙流体圧場は安定して推定されているが、応力場の差の大きい御嶽山の東~南麓では推定値に有意な違いが見られた。より高解像度の応力場を基にした本年度の再解析の結果の方が信頼性が高いと考えられる。

また、火山噴火の予測に貢献することを目指し、VTイベントのメカニズム解と御嶽山周辺域の広域応力場との関係から、山頂直下の局所応力場の時間変化をスカラー量により定量的に評価する手法を開発した(Terakawa et al., 2016)。Terakawa et al. (2016)では、2014年8月から2015年3月までのVTイベントデータから、噴火前の約2週間には火山活動の活発化により広域応力場を乱す東西引張の応力変動場が形成されていたことや、噴火後は広域応力場に支配されて地殻が収縮する過程が進行することなどが示された。このことは、山頂直下の局所応力場を通じて、火山の状態を捉えることができる可能性を示唆する。今年度は、Terakawa et al. (2016)の手法を2016年12月までに御嶽山で発生したVTイベントのメカニズム解(図8)に適用し、局所応力場の時間変化をモニターすることを継続した(Terakawa et al., in prep.)。Terakawa et al. (2016)の手法では、観測されたすべりベクトルと広域応力場から期待される理論滑りベクトルの角度差をミスフィット角と定義し、この量を用いて局所応力場の広域応力場からのずれを評価する。ミスフィット角が広域応力場及びメカニズム解の誤差を考慮した閾値(65度)を超えた場合は、局所応力場が広域応力場から有意にずれていること、つまり火山活動の活発化による有意な応力変動があったことを意味する。図12aは、名古屋大学で推定したVTイベントのメカニズム解(2014年8月~2016年12月)をすべて用いて、ミスフィット角の時間変化を計算した結果である。これによると、2014年の噴火以降にも、複数の期間で火山活動による有意な応力変動場が形成された可能性があることが示唆される。御嶽山のVTイベントは規模が小さく、6割以上はM0未満である。このため、メカニズム解を安定して推定することは難しい。そこで、より安定的にメカニズム解が得られるM0以上のイベントだけを使って、ミスフィット角の時間変化を推定した(図6b)。これらの結果を合わせると、2014年の噴火以降に有意な応力変動場が形成された可能性がある時期は、2015年1~2月、2015年10~11月、2016年1月~9月頃であると考えられる。

・西南日本活動期のシミュレーション:

計算機上で南海トラフにおける固着と滑りや東北日本と西南日本間の東西圧縮、内陸活断層におけるすべり相互作用を考慮して、西南日本内陸における応力場の変化や内陸活断層におけるクーロン応力を計算することによって、南海トラフ巨大地震と西南日本内陸地震の活発化・静穏化の因果関係を

解明することが本研究の目的であるが、すべり相互作用の計算に必要な断層ジオメトリを実データに合うように設定するために、H28年度はブロック断層モデルを用いた地殻変動のモデル化を前年に引き続き行った。本年度の主な改良点は以下の通りである。(1)陸上GNSSデータに加えて、海底地殻変動データ(GPS/A)データを新たに用いたこと。(2)ブロック断層モデルの解析領域を前年度のモデルから東西に広げて、アムールプレート安定部(朝鮮半島)から関東地方までを含むモデル化を行ったこと。(3)ブロック分割のチューニング。特に、九州のブロック分割においては、阿蘇から霧島にかけての九州中軸部に観測されているひずみ速度の集中を説明するために、九州中部を独立のブロックとすることにした。

推定されたブロック運動(図13)を見ると、アムールプレートとフィリピン海プレート間の相対運動は、主に4つの変動帯でまかなわれており、日本海~朝鮮半島、山陰ひずみ集中帯、中央構造線~新潟-神戸ひずみ集中帯、南海トラフでの運動速度は、概ね1:1:2:7の割合であることが推定され、内陸域の変動帯もプレート相対運動の解消に大きな役割を果たしていることがわかった。また、海底地殻変動データを用いることにより、南海トラフ沿いのすべり欠損速度の推定の解像度が上昇し、南海トラフ沿いの固着分布にかなりの不均質があることが明らかになった。

・地震活動変化:

昨年度は、1985年から兵庫県南部地震の直前までの気象庁一元化震源データに非定常ETASモデルを当てはめ、常時地震活動度(background rate) μ 値と余震生産率(aftershock productivity) K 値の時間変化を求め、兵庫県南部地震の約半年前の群発地震活動に対応する期間で常時地震活動度 μ 値が大きくなったことを示した。今年度は、阿武山微小地震観測網のデータに非定常ETASモデル(Kumazawa and Ogata, 2013, JGR) (近似解析版)を当てはめ、1976年から1995年の兵庫県南部地震の直前までの地震活動変化を調べた。解析領域である観測網とその近傍においては、M1.5まで時空間的に均質であることをまず確認した。その結果、図14に示すように、ほぼ定常的だった地震活動は、1989年頃から静穏化(Q1)、1992年頃に静穏化がさらに加速(Q2)、上記の群発地震の期間に活発化した後、兵庫県南部地震直前に急激に静穏化が進んだ(Q3)ことが示された。この直前の静穏化は、片尾・安藤(1996)において示唆されているが、非定常ETASモデルにおいても検知された訳である。これらの静穏化は、直前のもも含めて、丹波山地の微小地震が活発な領域の広い範囲に及んでいるようである。今後、さらに詳しい解析を進め、静穏化の領域やそのメカニズムを明らかにする予定である。

・熊本地震関連

熊本地震の4月14日のM6.5はなぜ前震だったのかという問題について、気象庁の一元化震源速報値を用いて検討した。この問題は、本課題が対象としている内陸地震の断層の両端部の特性に深く関係している。

近年日本の内陸で発生した大地震の余震の深さ分布において、その下限が中央部付近で深く、両端に向かって浅くなるお椀型を示すものが多い。これは、余震域中央部のみ、地震発生域最深部で応力が十分に蓄積されていたことを示していると考えられる。熊本地震の前震についても、断層の走向方向においてはお椀型を示すように見え、少なくともその時点では、前震の震源分布の両端付近最深部では応力集中は、そこで地震を発生させるほど大きくなかった可能性が示唆される。ところが、前震の断層の直交方向においては、地震発生域最深部にも余震が発生している。これは他の大地震では見られなかったものであり、熊本地震の震源域最深部においては、断層の直交方向においてある幅を持った領域内に応力集中が発生していたと考えられる。下部地殻内に平行する複数の断層の深部延長が存在し、そのうちの1つが前震に関係し、他の1つが本震に関係した可能性が示唆される。本震の最深部の余震分布はこのことと調和的である。

- (9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
Aoki, S., Y. Iio, H. Katao, T. Miura, I. Yoneda, M. Sawada, Three-dimensional Distribution of S-wave Reflectors in the Northern Kinki District, Southwest Japan, Earth Planets Space, 68:107, DOI 10.1186/s40623-

016-0468-3, 2016.

Iio, Y., Fluid Path in the lower crust Estimated by S-Wave Reflection Analysis (招待講演), Goldschmidt 2016, 2016.

Iio, Y., Fluid Path Below a Seismogenic Fault Estimated by S-Wave Reflection Analysis(招待講演), AOGS 12th Annual meeting, SE10-A006, 2016.

飯尾能久・熊本地震はなぜ起こったのか?、日本の科学者, 52, 6-11, 2017.

前田裕太・加藤愛太郎・寺川寿子・山中佳子・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆, 傾斜波形解析から示唆される御嶽山 2014 年噴火の浸透率増大モデル, 日本地球惑星連合大会, 2016.

西村卓也, GNSS データから見出される日本列島のひずみ集中帯と活断層及び内陸地震, S-5 (招待講演), 日本活断層学会講演会 2016 年秋季学術大会, 2016.

Nishimura, T., Interplate coupling strain partitioning and block motions deduced from GNSS and GPS/A data in southwest Japan, AGU 2016 Fall Meeting, T31E-2950, 2016

Takada, Y., K. Katsumata, H. Katao, M. Kosuga, Y. Iio, T. Sagiya, The Japanese University Group of the Joint Seismic Observations at the Niigata-Kobe Tectonic Zone. Stress accumulation process in and around the Atotsugawa fault, Central Japan, estimated from focal mechanism analysis. Tectonophysics 682, 134-146, 2016.

寺川寿子・加藤愛太郎・前田裕太・山中佳子・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆, 応力場の時間変化に基づく御嶽火山のモニタリング, 日本地球惑星連合大会, 2016.

寺川寿子・山中佳子・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆, 応力場の時間変化に基づく御嶽火山のモニタリング, 日本地震学会 2016 年秋季大会, S08-P13, 2016.

Terakawa, Temporal stress changes at Mt. Ontake volcano, Crustal Dynamics 2016, A08, 2016.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要:

・地殻変動とモデリング:

跡津川断層周辺での GNSS 観測を継続し、特に 2011 年東北地方太平洋沖地震後の速度場から余効変動の影響を除去することで、地震前の速度場とのより正確な比較を行う。また、この地域の地震時歪の不均質性が何に起因するかを明確にする。GNSS と InSAR を組み合わせて地震後の面的かつ高空間分解能の速度場を得る。

・比抵抗観測とモデル化:

長野県西部地震震源域の南西端周辺において可聴域 MT 観測を行い、北東域の既存稠密観測データと統合して、震源断層全体を包括する領域について三次元比抵抗構造を推定する。四国地方東部から中央部における基盤的比抵抗構造調査のための広帯域 MT 法観測を実施する。平成 26-27 年度のデータを用いて四国地方東部から中央部における予察的な基盤的比抵抗構造を推定する。

・地震観測とモデル化:

近畿地方北部、山陰地域、長野県西部地震震源域等において実施中のオフライン臨時観測装置を用いた稠密地震観測を継続し、定常観測網の地震波形データと統合処理して、地震波トモグラフィー等による地殻構造解析を行う。また、極微小地震をも含んだ大量のメカニズム解を決定し、それを基に詳細な応力場を求める。これらに基づき、活断層の分布や内陸大地震、また定常的な地震活動がどのような物理的要因によって支配されているかを解析・考察する。

・間隙流体圧場の推定:

H28 年度と同様に、定常地震観測観測で得られた地震波形データに WIN システムを利用した手動読み取り処理を適用し、御嶽山周辺域で発生する地震(火山性地震も含む)の震源分布を把握すると共に、P 波初動の押し引き分布及び S/P 振幅比から地震のメカニズム解を推定する予定である。これらの基礎データから、間隙流体圧場の時間変化による断層強度の時間変化と地震の発生の関係を調べることが本課題の主な目標の 1 つである。精度良く間隙流体圧場を推定するためには、正しい応力場を推定することが重要であることは、今年度の解析で実証された。データの蓄積が進みつつあるので、応力場

の時間変化の考慮に入れながら、伸張に間隙流体圧場の時間発展を調べたい。まずは、期間を分けて応力インバージョンや地震メカニズムトモグラフィ解析を実施し、応力場や間隙流体圧分布に有意な時間変化があるかどうか検討する。結果を踏まえて、間隙流体圧レベルや時間変化のパターンと地震の発生について調べる予定である。また、山頂直下の局所応力場の時間変化に関しては、ミスフィット角を用いた既存の手法を長期間のデータに適用し、火山活動の活発化した期間を特定すると共に他の観測データ（傾斜計、地殻変動など）との関連を整理する。可能であれば、局所応力場のテンソル量としての時間変化を推定することを試み、火山の圧力源や地殻の絶対応力レベルの推定を目指したい。

・西南日本活動期のシミュレーション：

引き続きブロック断層モデルを用いた内陸活断層とプレート境界におけるすべり速度・すべり欠損速度の推定を行い、九州中部の系統的残差の原因を明らかにする。東北地方太平洋沖地震以降の速度データを用いた解析や余効変動の影響評価、および南海トラフ沿いの海底地殻変動データ（GPS/A）を用いた解析も行う。

・地震活動変化：

内陸大地震の発生前の地震活動変化はゆっくりすべりによる応力変化（CFS）に起因するという説の検証、および、北摂・丹波地域における地震活動と大地震との関係や活動変化の原因の解明を試みる。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

飯尾能久、高田陽一郎、吉村令慧、片尾 浩、宮澤理稔、西村卓也、平原和朗

他機関との共同研究の有無：有

名古屋大学 寺川寿子、山中佳子

鳥取大学 塩崎一郎

九州大学 松本 聡

東京大学 上嶋 誠

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：0774-38-3348

e-mail：

URL：

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：飯尾能久

所属：京都大学防災研究所地震予知研究センター

東北沖地震を挟む跡津川断層近傍の歪・歪速度場
(最大せん断歪)

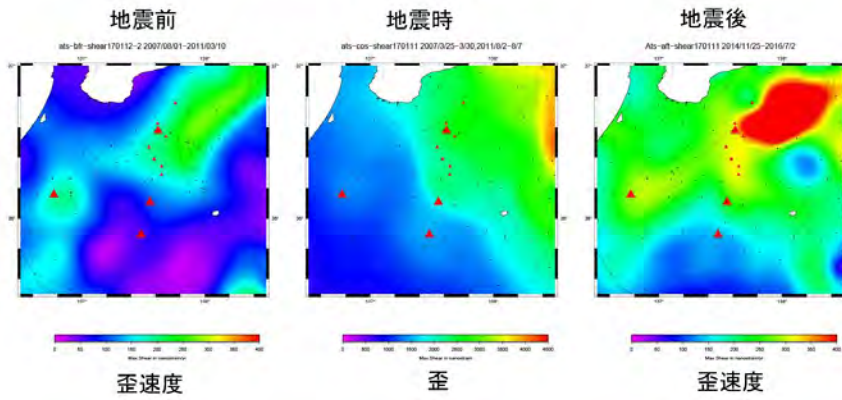


図 1. 東北地方太平洋沖地震前・地震時・地震後の跡津川断層近傍の最大せん断歪
左上：地震前（歪速度） 上：地震時（歪） 左：地震後（歪速度）、黒点は GPS 観測点。黒線は活断層。大三角は
主な火山（東から立山、乗鞍、御嶽、白山）。小三角は飛騨山脈。

東北沖地震を挟む跡津川断層近傍の歪・歪速度場
(面積歪)

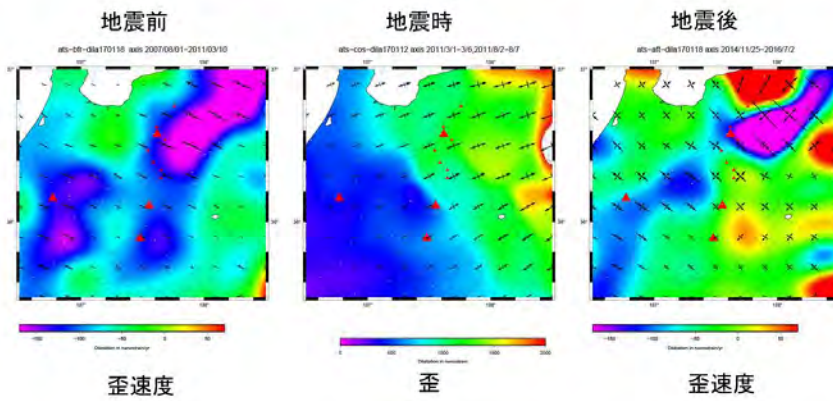


図 2. 東北地方太平洋沖地震前・地震時・地震後の跡津川断層近傍の面積歪
左上：地震前（歪速度） 上：地震時（歪） 左：地震後（歪速度）、黒矢印は歪の主軸。

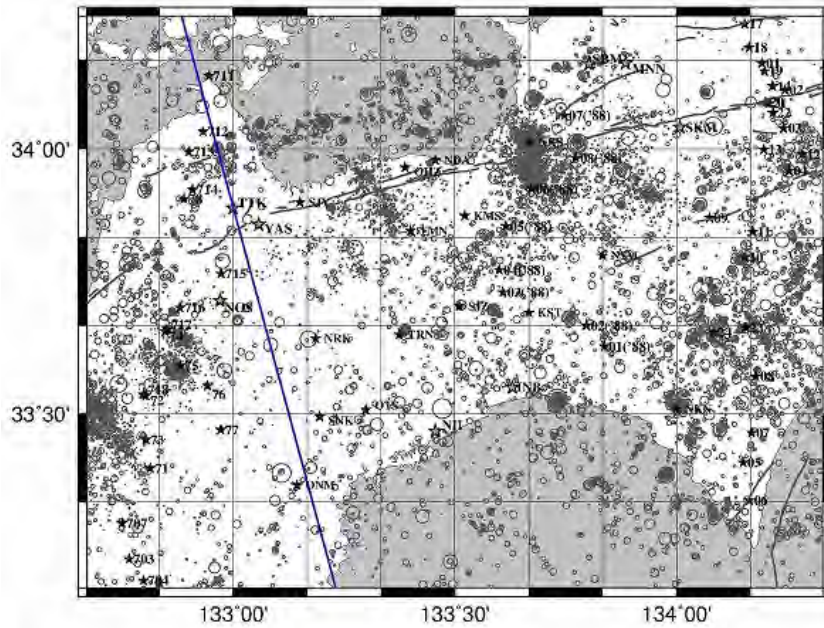


図 3a . 四国地方の 2016 年度広帯域 MT 観測地点 (黄緑色の 印) 分布図
 ここには既存の測点 (黒色の 印) を重ねて描写。青色ラインに沿った 2 次元解析構造断面を推定した。

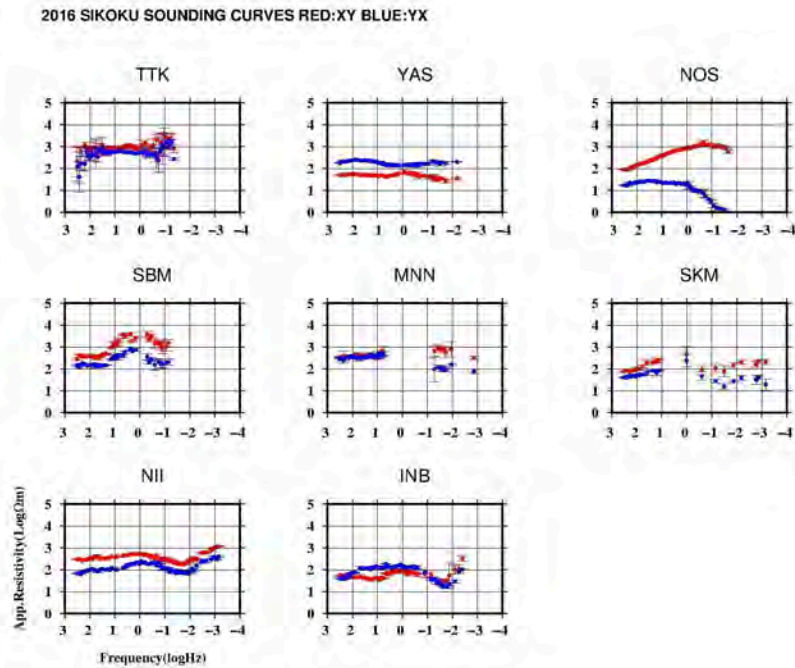


図 3b. 見かけ比抵抗探索曲線
 南北方向の電場と東西方向の磁場変動から推定された見かけ比抵抗を赤丸で示し，東西方向の電場と南北方向の磁場変動の組み合わせで推定されたそれを青丸で示す。縦軸は見かけ比抵抗 (Ω) ，横軸は周波数 (Hz) を表し，いずれも対数目盛りで表現されている。

2016 SIKOKU SOUNDING CURVES RED:XY BLUE:YX

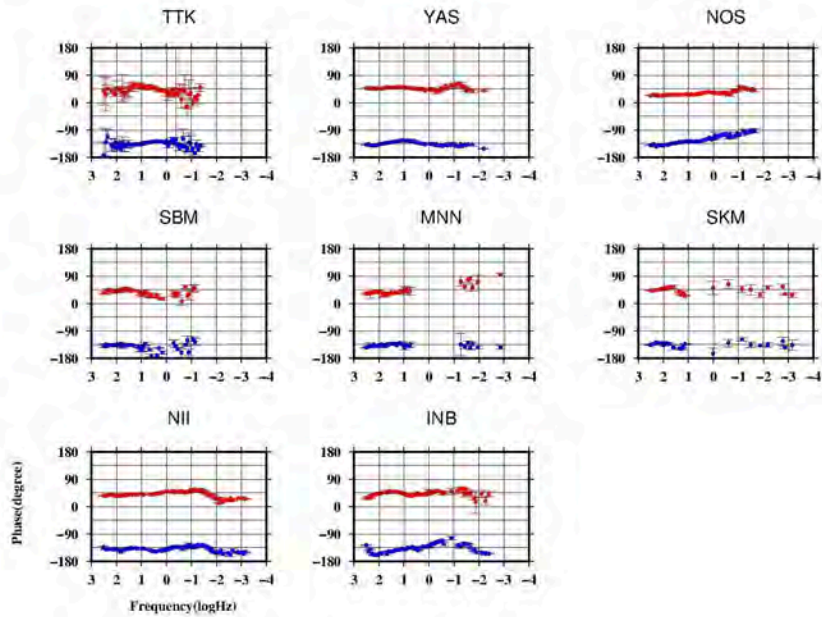


図 3c. 位相差探査曲線

南北方向の電場と東西方向の磁場変動から推定された位相差を赤丸で示し、東西方向の電場と南北方向の磁場変動の組み合わせで推定されたそれを赤丸青丸で示す。縦軸は位相差(度)を表す。横軸は周波数(Hz)を表し、対数目盛りで表現されている。

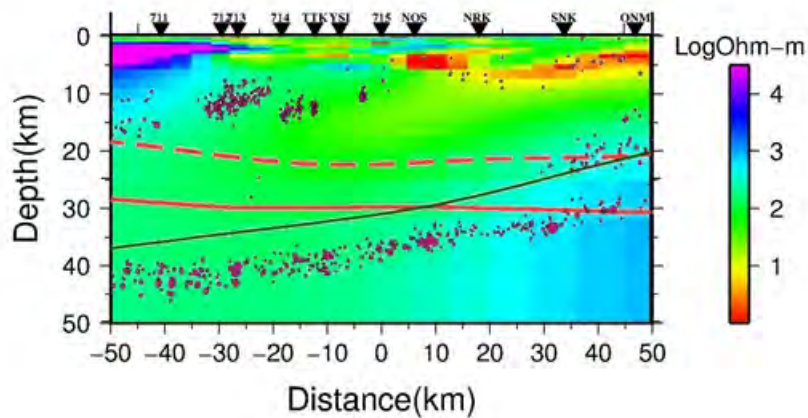


図 3d. 四国中西部における2次元比抵抗構造モデル

寒色系が高比抵抗、暖色系が低比抵抗を示す。地震データ等は AIST の地下構造可視化システムで描画した。なお、各データの引用先は次の通り。

- ・コンラッド (赤点線) 及びモホ面深度 (赤色線) :Katsumata (2010)
- ・フィリピン海プレート上面深度 (緑色線) : Baba et al. (2002); Hirose et al. (2008); 弘瀬他 (2008); Nakajima and Hasegawa (2007); Nakajima et al. (2009) (BNHHHN compiled by Hirose)

なお、JMA 震源データは期間:2010/1/1 0:00 ~ 2017/1/1 0:00 までを描画。

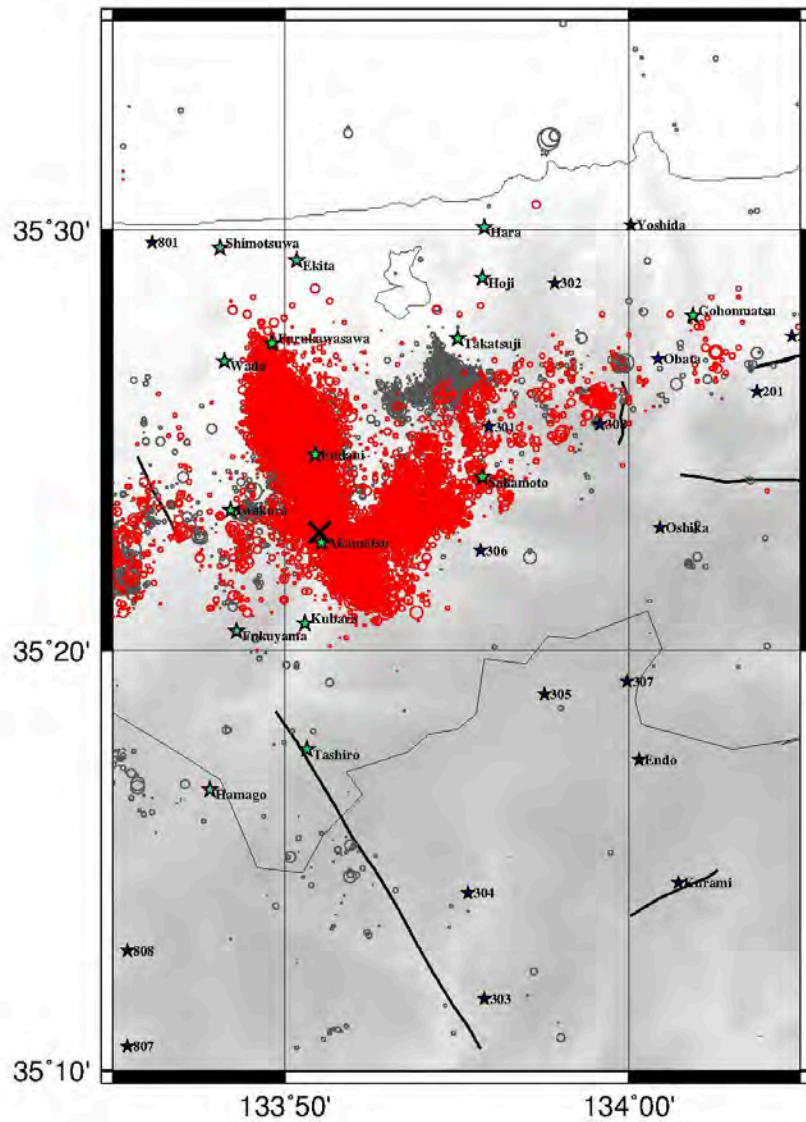


図 4a. 鳥取県中部の地震域周辺の 2016 年度広帯域 MT 観測地点分布図 (黄緑色の印, 2016 年度鳥取県環境学術研究振興事業の観測点も併記。計 16 地点)
 ここには既存の測点 (黒色の印) を重ねて描いた。JMA 震源データの期間については, 2000/1/1 0:00 ~ 2016/10/20 までを灰色印で, 2000/10/21 ~ 2016/12/31 までを赤色印で示し, 本震の位置を × 印で示した。

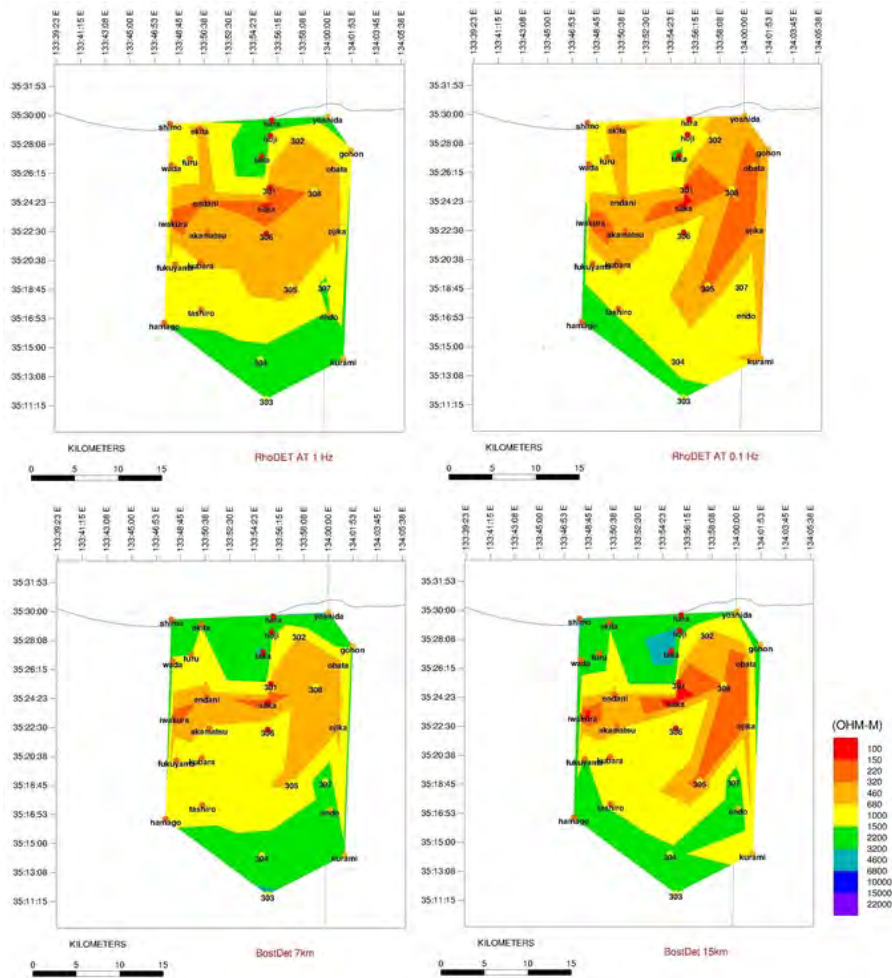


図 4b. 2016 年鳥取県中部の地震域周辺の比抵抗データ

determinant impedance を用いた見かけ比抵抗値の空間分布図：周期 1 秒（左上）および周期 10 秒（右上），加えて，ポストティック・インバージョン解析の結果得られた 1 次元構造モデルをもとにした異なる深度の比抵抗構造の空間分布図：7km（左下）および 15km（右下）

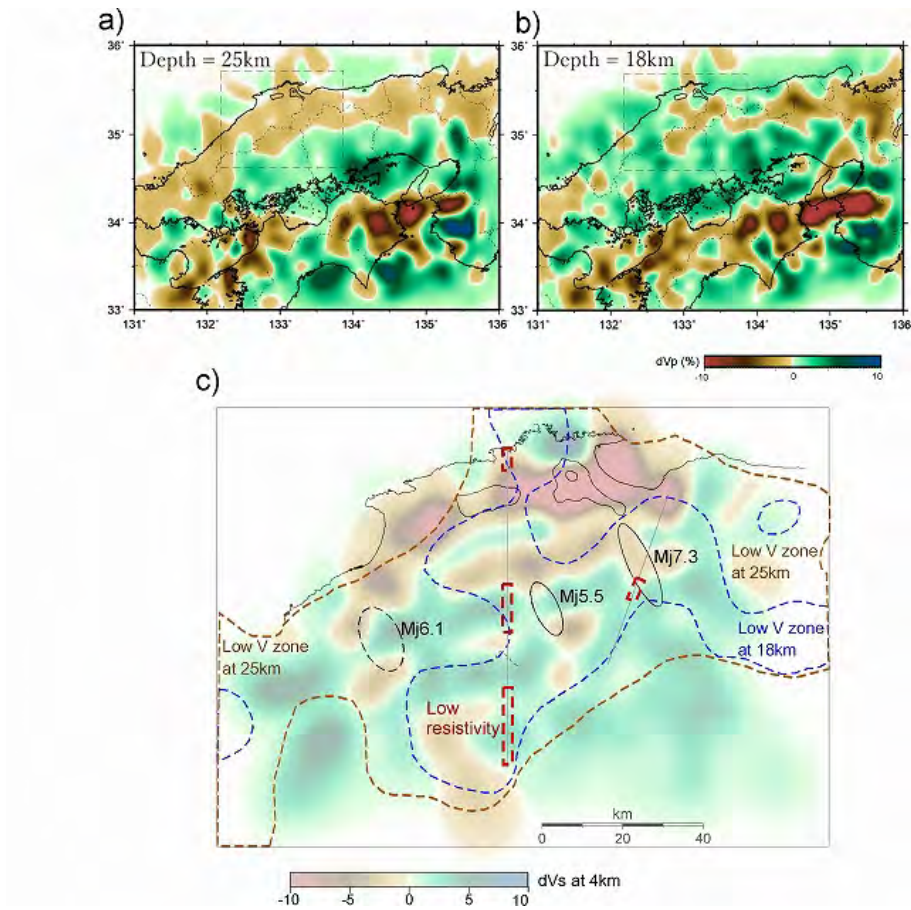


図5 鳥取県西部・島根県東部地域における地震波速度構造と比抵抗構造の関係

a) 深さ 25km および b) 深さ 18km における P 波速度構造 (JMA2001 からの偏差)。c) 地震波速度構造と塩崎・他によって 2 側線で推定された深さ 18km 付近の低比抵抗異常域 (赤の点線) との関係。速度構造は稠密観測データによる深さ 4km の S 波速度偏差。a), b) の低速度域 (点線の四角内) を茶色、青の点線で表示。黒実線の楕円は 2000 年鳥取県西部地震と誘発された M5.5 の地震の余震域、黒点線の楕円は 1978 年の三瓶山の地震 (M6.1) の余震域。

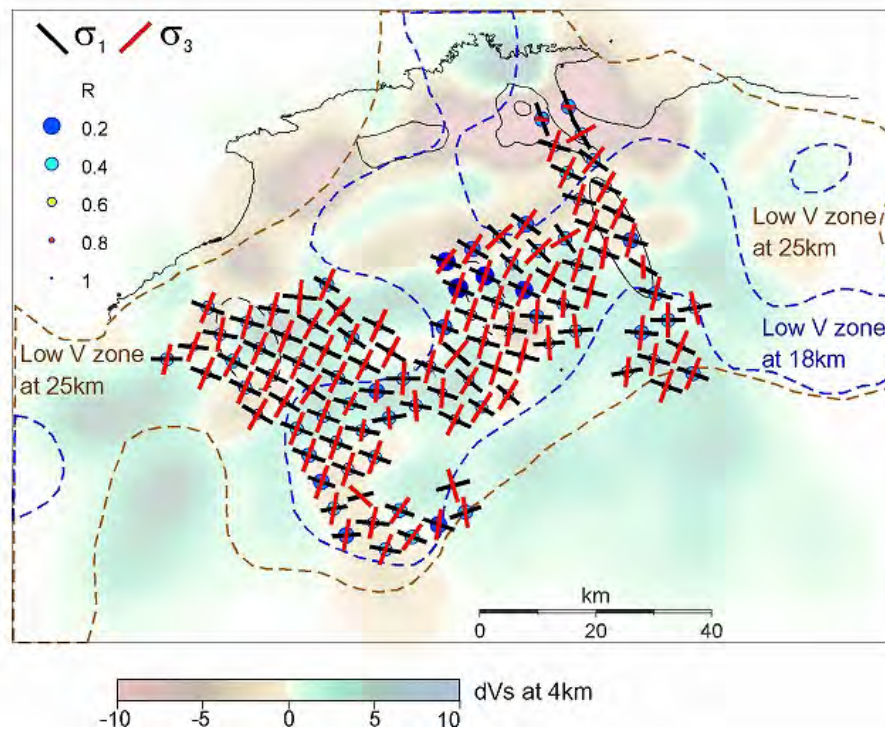


図6 鳥取県西部・島根県東部地域における応力場

応力逆解析により推定された σ_1 と σ_3 を水平面に投影。応力比 R も合わせて表示。解析領域は、水平には10km、深さ方向は0~15km、半グリッドずつずらしている。鳥取県西部地震の余震域のみ5kmメッシュでずらさずに解析。各メッシュ内にデータが10個以上ある領域のみの結果を表示。背景は稠密観測データによる深さ4kmのS波速度偏差。図5a),b)の低速度域)を茶色、青の点線で表示。黒実線・黒点線の楕円は図5と同じ。

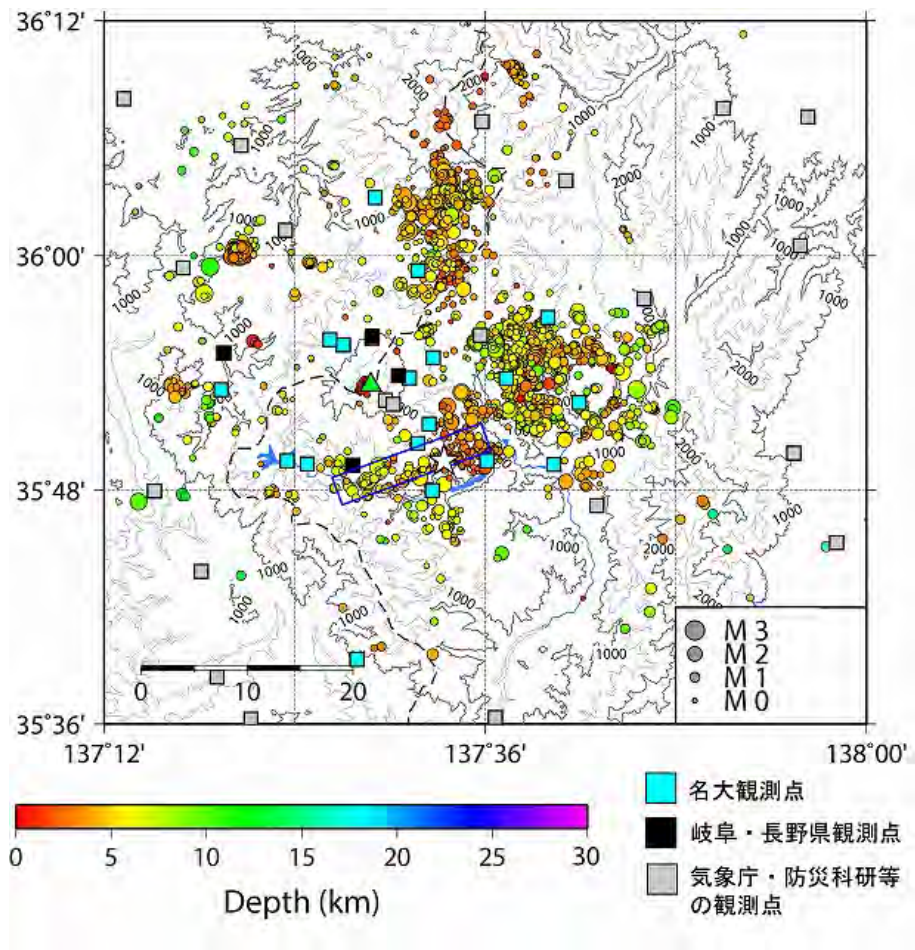


図 7. 御嶽山周辺域の地震活動 (2016.1-2016.12) と観測点分布
 は御嶽山, と青線の矩形は 1984 年長野県西部地震の震源と震源断層.

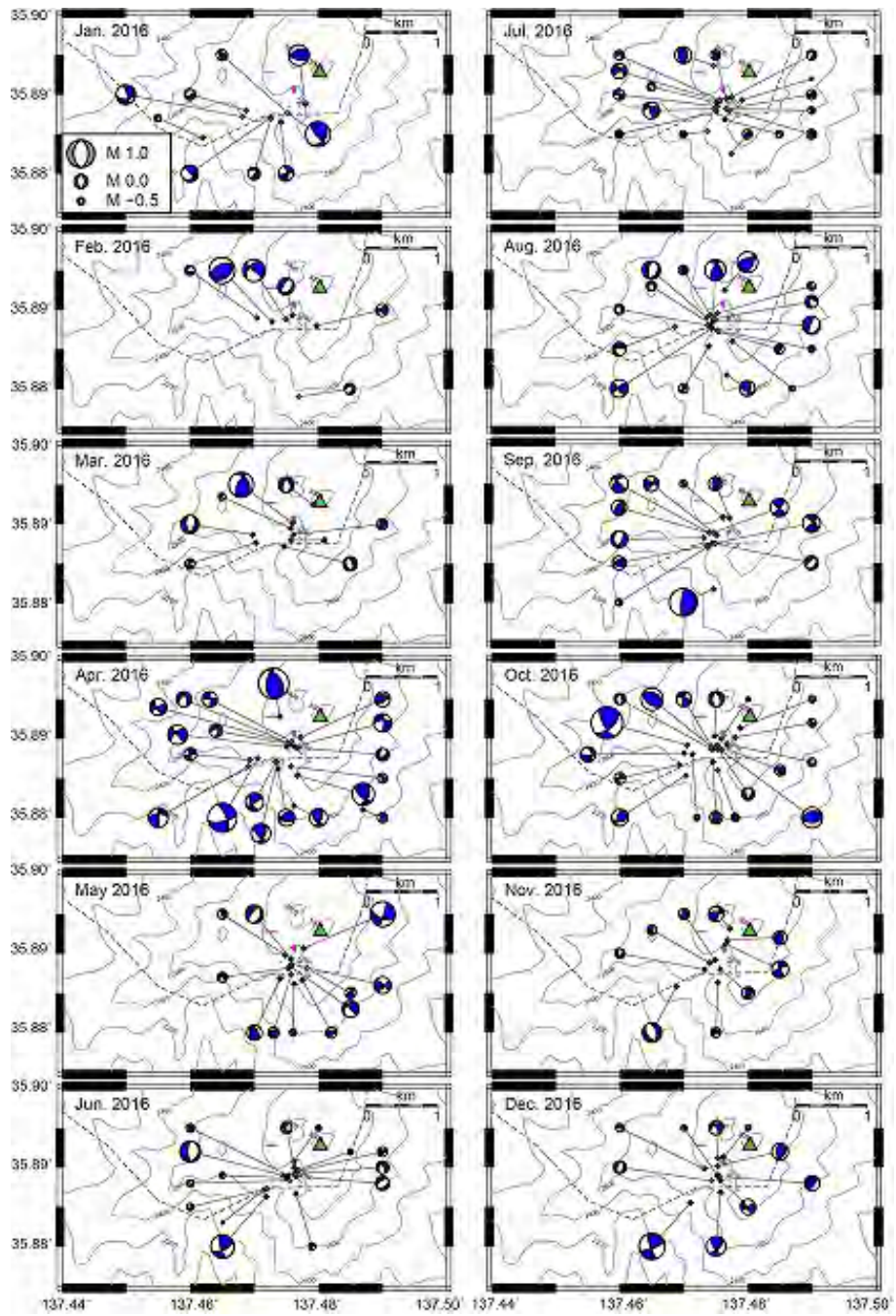


図 8. 御嶽山直下で発生した VT イベントのメカニズム解 (2016 年 1 月 ~ 12 月)
 ピンク は 2014 年噴火口 (国土地理院による)

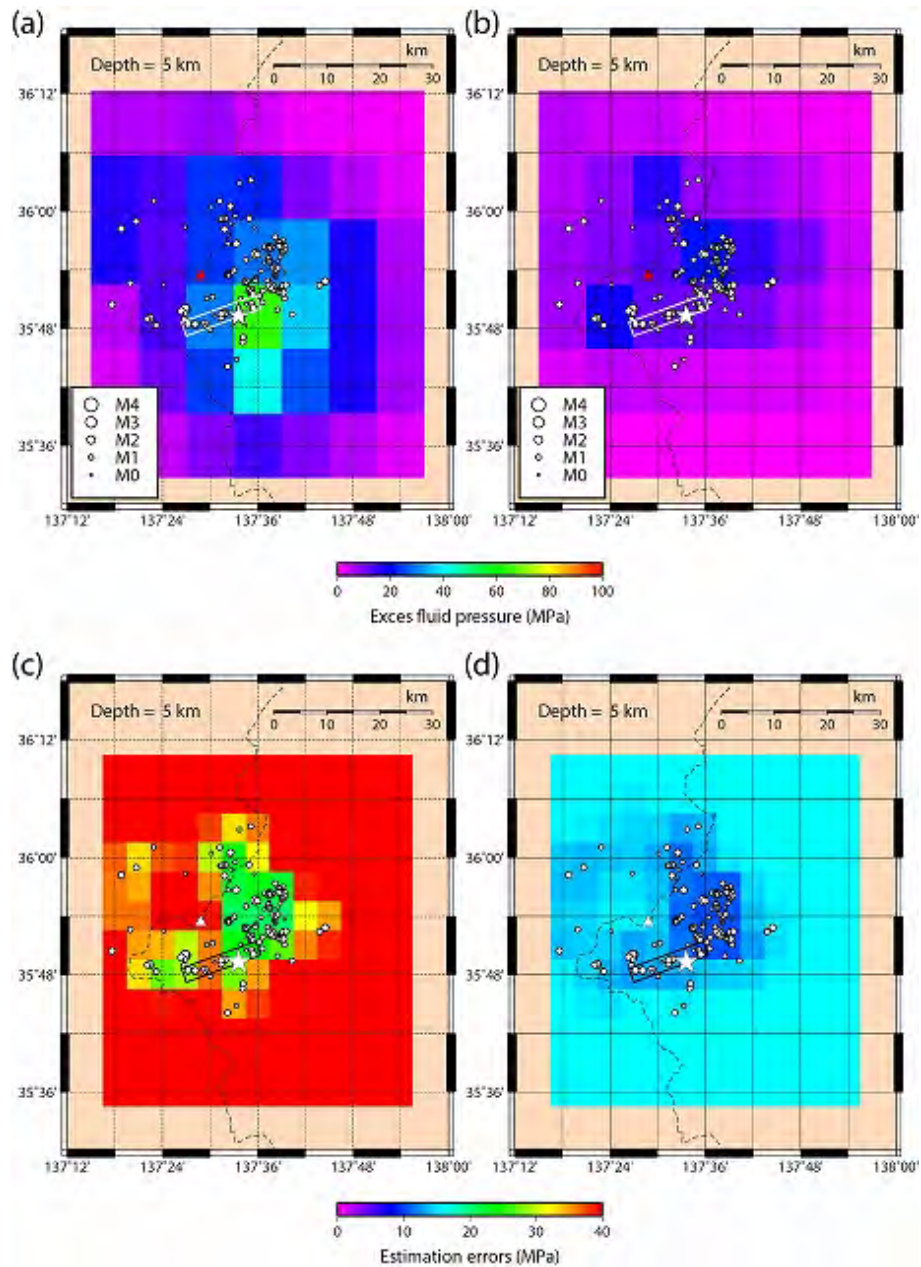


図9. 応力場の不確定性による間隙流体圧場の推定結果への影響（深さ5 km）

(a) Terakawa et al. (2013) の結果。(b) 解像度5kmの応力場を基にした再計算の結果。(c) (a)の推定誤差。(d) (b)の推定誤差。は御獄山、矩形と は1984年長野県西部地震の震源断層と震源。○は解析に用いたデータ（2009-2011年の臨時観測及び2012年5-8月までの定常地震観測によるもの）で、深さ5kmの水平断面から1.3 km以内のイベントを表す。

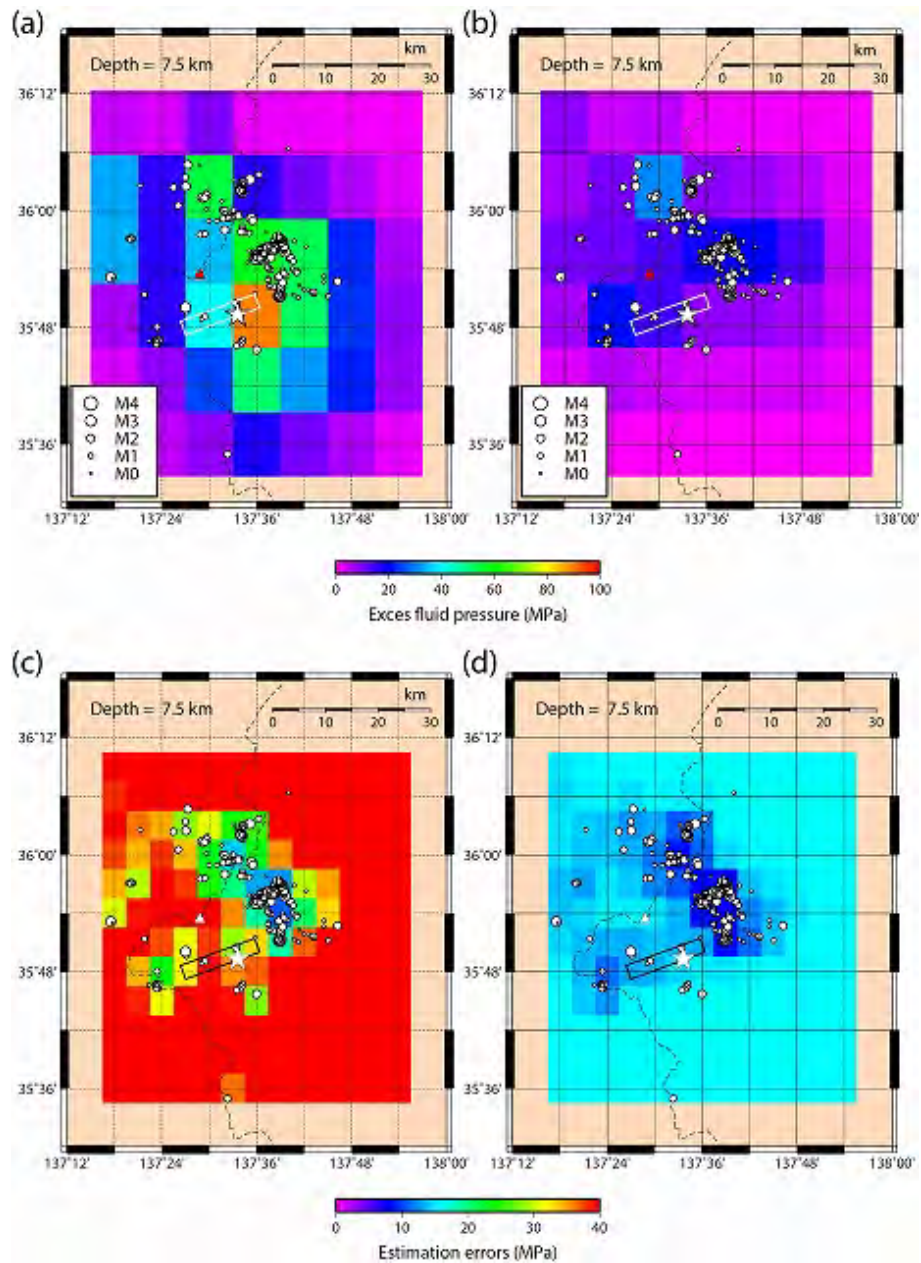


図 10. 応力場の不確定性による間隙流体圧場の推定結果への影響 (深さ 7.5 km)

(a) Terakawa et al. (2013) の結果。 (b) 解像度 5km の応力場を基にした再計算の結果。 (c) (a) の推定誤差。 (d) (b) の推定誤差。 御獄山、矩形と は 1984 年長野県西部地震の震源断層と震源。○は解析に用いたデータ (2009-2011 年の臨時観測及び 2012 年 5-8 月までの定常地震観測によるもの) で、深さ 7.5km の水平断面から 1.3 km 以内のイベントを表す。

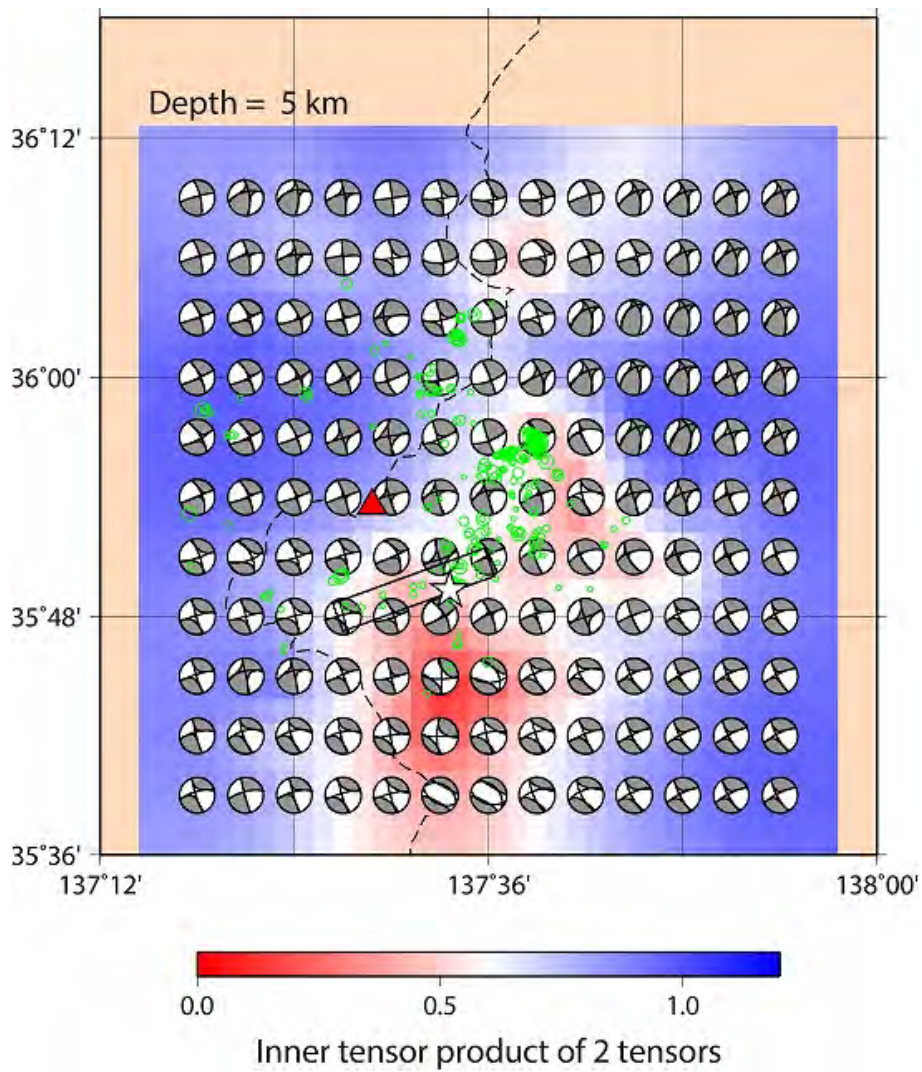


図 11. 御嶽山周辺域の解像度 5 km の応力場 (Terakawa et al., 2016)

背景のカラスケールは、表示した応力テンソルと F-net カタログから推定された解像度 20 km の広域応力テンソル (Terakawa & Matsu 'ura, 2010) との内積を表す。内積の値が 1 のとき、2 つのテンソルは一致し、-1 のとき 2 つのテンソルは反転していることを表す。緑の○は図 8 及び 9 の間隙流体圧場を推定するために用いたデータで、水平面 5km から 2.5km 以内のものを示す。矩形と は、図 9 及び 10 と同じである。

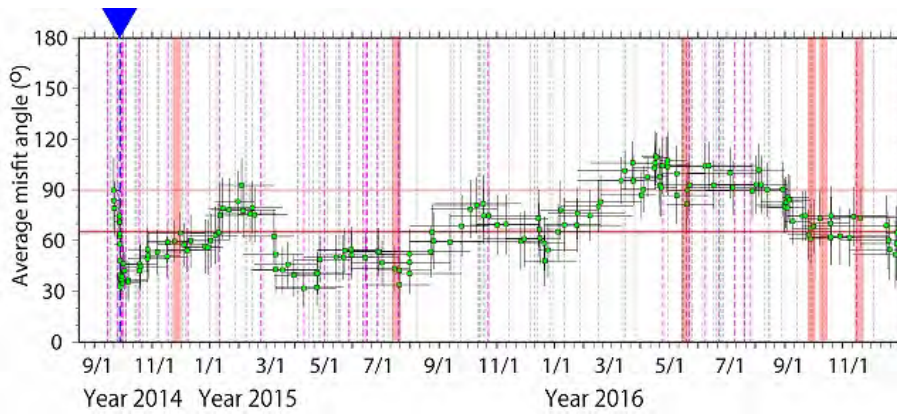


図 12. 火山性地震のミスフィット角の時間変化 (Terakawa et al., in prep.)

(a) 全データを用いて移動平均をとった結果。(b) M0 以上のイベントの移動平均をとった結果。平均ミスフィット角 () は、地震 10 個毎の移動平均として計算されている。黒い横線は平均をとった期間、黒い縦線はミスフィット角の標準誤差を表す。太い赤横線は、局所応力場の広域応力場からのずれを検出するための閾値 (65 度) で、これより大きなミスフィット角は局所応力場のずれが有意であることを示す。細い赤横線は、局所応力場のずれが顕著であることを示す目安である。青い太点線は御嶽山の噴火、桃色及び灰色の点線は、気象庁の分析による BL 型及び BH 型地震が観測されたことを表す。赤い太縦線は、気象庁の分析により微動が検出されたことを表す。

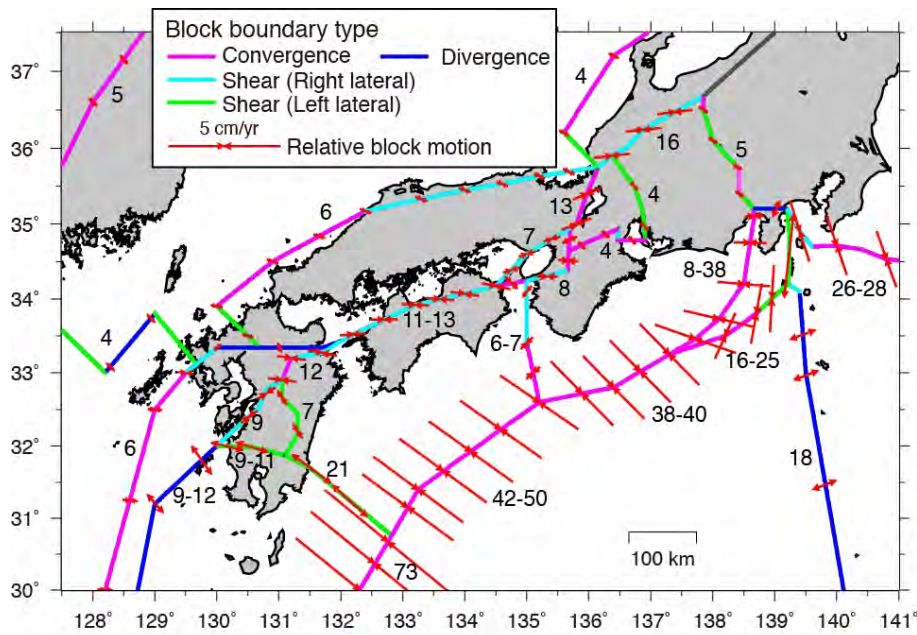


図 13 海陸地殻変動データからブロック断層モデルを用いて推定されたブロック間相対運動数字は、相対運動速度 (mm/yr) を表す。

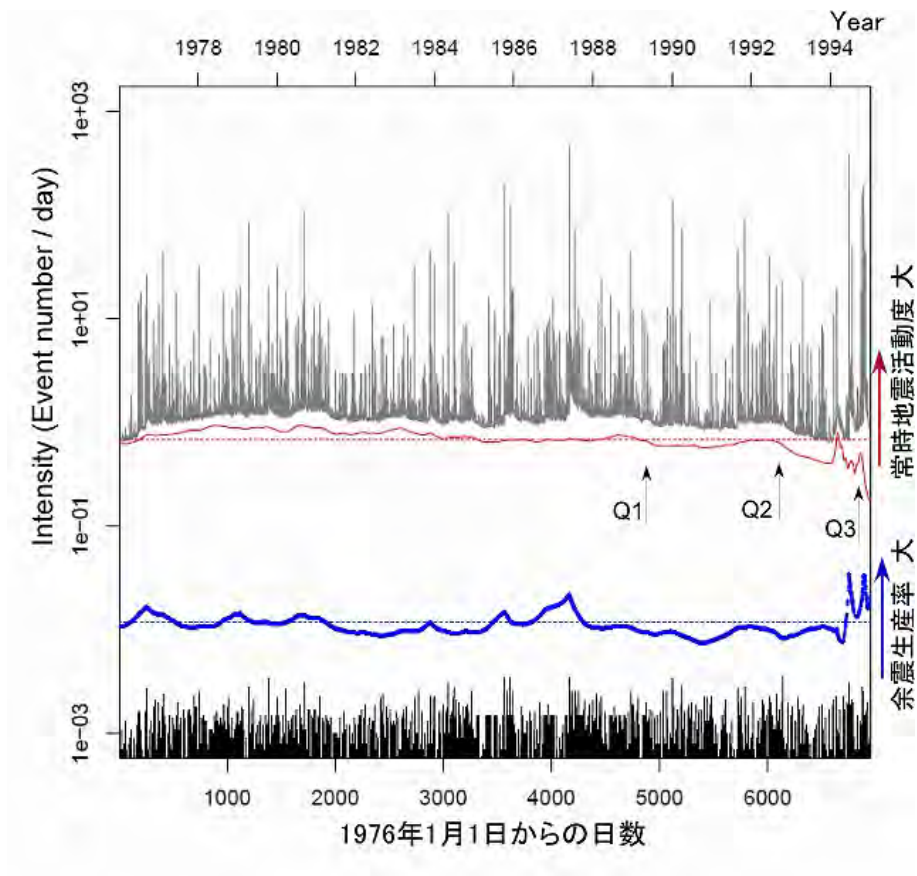


図 14 非定常 ETAS モデルによる兵庫県南部地震の前の常時地震活動度の変化
 阿武山微小地震観測網による M 1.5 の地震を用いた。(赤) 常時地震活動度 (background rate) μ 値、(青) 余震生
 産率 (aftershock productivity) K 値、(灰色) 地震活動度。下：地震の MT 図。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

昭和火口における噴火活動過程において、多項目の5年にわたる長期観測に基づいてカルデラ下におけるマグマの蓄積に伴うその量の推移および桜島中央火口丘下へのマグマの移動の過程を把握した上で、火山体構造とその時間変化をあわせ考慮して、桜島のマグマ蓄積・移動・上昇の変化を定量的・定性的に把握することにより、地下のマグマの動態がどのように変化し、今後の活動の活発化に繋がっていくのかをモデル化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」事業に基づいた計画である。本研究計画では、爆発が多発し、将来、噴火活動が更に活発化する桜島を対象として、個々の爆発および一連の活動期とそれらに前駆する諸現象を物質科学も取り込んだ最大限の多項目・長期観測により定量化し、両者の間の経験則を確立するとともに、その理論的背景について考察する。さらに、上記(4)その他関連する建議の項目記述した上位項目において直接的に成果を活用する。具体的には、次の5つのテーマに基づいて研究をすすめる。

[1] 爆発現象に前駆する短期的マグマの蓄積過程及びマグマ放出過程の解明

[2] 長期的マグマ蓄積過程・放出過程の解明

[3] 火山体構造の時間変化に基づくマグマ供給系の発展過程の解明

[4] 先行マグマ物質の分析によるマグマ供給系の発展過程の解明

[5] マグマ挙動のモデリング

[1] では、個々の爆発について火山性地震、地盤変動、絶対重力、二酸化硫黄放出量観測、空気振動、火山灰放出量に基づいて、前駆現象と噴火規模を定量化し、噴火に前駆する発生様式や変動パターンと後続する噴火の規模・様式を関連付けて噴火予測の基礎データを構築するとともに、蓄積および放出過程を明らかにする。

[2] では、火山活動の1~2年周期の活発化と縮退のサイクルに注目し、長期的なサイクルを定量化したうえで、浅部および深部の地震活動や地盤変動との関係を明らかにし、長期的な予測の基礎データとする。

[3] では、長期的なサイクルと深部および浅部の地下構造の変化の関係を明らかにする。地下構造の時間変化把握にはMT、人工地震探査、地震波干渉法、地震波トモグラフィー、重力など多様な手法を駆使し、マグマ供給系の発展過程を明らかにする。26年度および28年度に人工地震探査を実施し、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」実施時からの時間変化を抽出する。

[4] では、火山灰水溶性成分、火山灰・レキ等の噴出物の岩石学的分析、温泉ガス濃度などのマグマ発散物の分析に基づいて、質的变化と長期サイクルとの関係を明らかにし、火道の拡大や開口率などのマグマ供給系の発展過程を明らかにする。

[5] では、上記[1]~[4]で得られる観測量の変化に対してマグマ溜まりや火道内のマグマ挙動を、混相流の基礎方程式や実験などから得られる構成方程式をもとにして、数値計算を行い、マグマ挙動の数値モデルを構築する。

(8) 平成28年度の成果の概要：

2006年に58年ぶりに再開した桜島の昭和火口における噴火活動は2009年後半から2015年前半まで、ブルカノ式噴火が頻発した。地震、地盤変動観測、重力測定、火山ガス放出量、噴出物の分析を継続するとともに、火山体構造の変化抽出のための解析を行った。また、2015年8月15日に発生した急速な地盤変動を伴う群発地震活動は、2006年以降の火山活動にはない規模と特性をもち、ダイク貫入によるものと解釈される。2015年8月のマグマ貫入イベントの再解析を行うことにより、その特性を詳細に調べた。

1. 爆発現象に前駆する短期的マグマの蓄積過程及びマグマ放出過程の解明

昭和火口において発生する個々の爆発についてはブルカノ式噴火および噴煙高度1000m以上に達する非爆発的噴火の約90%について前駆する山体の膨張が捕捉され、噴火に伴って収縮が観測されている。2015年までの地盤変動については、噴火に先行する山体膨張時間と膨張量、また、噴火後の収縮継続時間と収縮量のデータベースを作成し、統計解析を行い、先行時間及び先行膨張量は対数正規分布を示すこと、また、伸長量と収縮量比は正規分布に基づく確率分布を示すことが示されている。2016年度の噴火についてもデータベースに変動量等のパラメータを追加して解析したが、大きな違いはなかった。

2016年に発生したブルカノ式噴火のうち、比較的規模の大きいものとして2月5日と7月26日の噴火があげられる。2月5日の噴火では噴火後に噴火警戒レベルが2から3に引き上げられ、7月26日の噴火では噴煙高度が5000mに達したが、いずれも、これまでに発生した噴火と同様の先行過程と収縮過程をもち、2009年以降活発化した昭和火口の爆発の範疇にある。

2. 長期的マグマ蓄積過程・放出過程の解明

図1に2007年以降の桜島の地震活動、地盤変動、噴火活動を示す。桜島の地盤は、約1年周期で膨張と収縮を繰り返しているが、2009年10月~2010年5月、2011年11月~2012年2月、2015年1月~6月の地盤の膨張は、それまでの年周变化的な変動(0.4 μ ストレイン)をはるかに超え、山頂から2.7km離れたハルタ山観測坑道の山頂方向のひずみ増加は、それぞれ、1.2, 1.1, 1.3 μ ストレインに達した。この地盤変動はGNSSにより基線長の伸長として検出されるレベルであり、マグマの貫入量が数十万 m^3 /月のレベルまで増加したものと考えられている。また、これらの時期には噴火活動が活

発化し、火山灰放出量も増加しており、マグマ貫入と同時にマグマ放出が起こる開口型火道系の特徴的な地盤変動と噴火活動を示した。地盤変動は球状圧力源の始良カルデラ下約 10km 及び北岳下 4km における増圧と南岳下約 1km の減圧により説明できる。

2015 年 8 月 15 日に発生したマグマ貫入は急速な地盤変動と火山性地震の群発を引き起こした。その後の地盤変動はこの地盤変動に対する緩和的な変動であり、収縮が緩やかに変動率を低下させながら続いている。このような地盤変動は傾斜計、伸縮計および GNSS で観測できている。例えば、有村観測坑道の傾斜計の火口側沈降を示す変動は指数関数で近似することが可能であり(図 2)、マグマ貫入に対する粘弾性緩和あるいはマグマの指数関数的ドレインバックと解釈される。

一方、GNSS 連続観測からは、桜島北部の隆起が顕著であり、この変動は 2015 年 1 月に始まり、2016 年 10 月まで続いた(図 3)。桜島北部の FUTG 観測点における隆起速度は 2cm/年であり、2004 年から 2014 年までの隆起速度 0.5cm/年より 4 倍大きく、1997 年～1999 年の隆起速度と同等である。水準測量でも同様の結果が得られており、ダイク貫入イベント直後の 2015 年 8 月・9 月から 2016 年 11 月までの期間における地盤上下変動量は、桜島北部、北岳北麓において、最大で 2cm の顕著な地盤隆起が検出された。このような地盤変動の圧力源は始良カルデラ中央部の深さ 10km 付近にあり、始良カルデラ下へのマグマの蓄積速度が速くなっていると評価される。

2015 年 1 月～6 月までは、桜島の北岳の下にある圧力源も膨張しており、かつ、昭和火口から火山灰放出量が 100 万トン/月に達していたので、桜島島内におけるマグマの移動は活発であった。2015 年 8 月以降は、粘弾性緩和的な収縮変動を差し引いて考えると、桜島島内の変動は顕著ではなく、始良カルデラ下のマグマの蓄積のみが進行している。桜島北部の隆起速度が速かった 1997 年～1999 年では、1999 年 10 月から南岳の噴火活動が活発化し、12 月には 104 回の爆発が発生した。現在の隆起・膨張速度から考えて、これと同等規模の噴火活動の活発化が南岳もしくは昭和火口で予想される。

3. 2015 年 8 月 15 日のマグマ貫入イベント

2015 年 8 月 15 日に発生したマグマ貫入イベントは、通常のプルカノ式噴火に先行する地盤変動の 300 倍の膨張速度と活発な A 型地震の発生を伴う顕著なイベントであり、通常のマグマ貫入と異なり、明瞭な割れ目の開口によりモデル化できるものであった。平成 28 年度においては 2015 年 8 月のマグマ貫入イベントを再解析した。

通常の P 波初動の着信時を用いて震源決定を行うと少数の地震しか震源決定できないために、決定率を向上させるために、振幅を用いて震源を決定する ASL (Amplitude Source Location Method) で位置の同定を試みた。決定できた震源 (8/15 N=250) はダイクの付近に走向 (北東 - 南西方向) に沿って分布することが明かとなった(図 4)。一方、この方法では、深さの決定精度は悪く、震源 (震央) 分布の時間変化を議論するにはさらなる検討が必要である。

2015 年 8 月 15 日のマグマ貫入時の地盤変動を再検討した。粘弾性遅延的な特徴が見られたので、傾斜変動の空間分布を調べた。南岳直下に求められる開口割れ目の中心から離れるほど応答が遅延していたことがわかった(図 5)。また、割れ目の開口方向の方が割れ目の方向に比べ遅延が少なく弾性的に応答していた。これは 8 月 18 日以降に始まる緩和的過程でもみられる特徴である。Maxwell モデル的な応力緩和作用も考慮し、A 型地震の発生過程などと照合した応力の時間変化も考慮に入れて、一般化粘弾性応答としての解釈を試みる必要がある。

2015 年 8 月 15 日の A 型地震の群発に前後する地震発生状況を調べた。桜島においては、A 型地震の発生は元々少なく、1969 年から 2014 年までの発生回数は年間 100 回程度である。2015 年 8 月 15 日の A 型地震の発生回数は 887 回であり、その多さが際立つ。これと同程度の地震活動は、1968 年 5 月 29 日に発生しており、最大震度は 3 であったことから、2015 年の地震活動よりも活発であったことが推定できる。2015 年の地震活動は 47 年ぶりの活動といえる。2015 年では、3 月 31 日に桜島の南西部において有感を含む地震が発生した。この地域は桜島の南岳直下を除くと地震活動が活発な場所であり、1976 年から 1978 年、また、2003 年から 2004 年にかけて地震が発生した。東南東 - 西北西方向に伸長軸をもつ正断層型の地震が特徴的であり、その後の噴火活動の活発化につながるということが知られている。8 月 15 日イベントは、1 月以降に蓄積していたマグマが急激に浅部に貫入した可能性が考えら

れる。また、8月の群発地震後の9月以降には桜島南西部でA型地震が発生している(図6)。浅部に貫入したマグマが深部に戻っている可能性が考えられる。

4. 火山体構造の時間変化に基づくマグマ供給系の発展過程の解明

2008年に桜島において初めて人工地震探査が行われてから、毎年、桜島の東部から北部にかけて反射法探査を繰り返し、地下の構造変化の抽出を試みた。2016年における反射法探査では、桜島東部における南北測線において9か所、北部における東西測線において5か所、さらに、2015年8月15日のダイク貫入をターゲットとして、南東部で1か所の爆破を行い、約250台の固有周波数4.5Hzの地震計により人工地震波を観測した。2016年の探査の地震波形の解析は来年度以降に行う。

今年度は測線の外側になる爆破点からの反射を用いて、2014年までの探査の再解析を行った。このことにより、より活動火口に近い場所を反射点とすることができ、その部分の構造を調べることができる。その結果、時間変化する3つの反射面を検出することができた。2.4km深の消長は表面活動と相関が見られる。2016年には、4.7km深、2.4km深のいずれの反射面も反射が強くなっている。また、5.8km深におけるPP反射はわずかに小さくなっていることがわかった。

また、地震波干渉法による地下構造の変化の抽出を試みた。桜島北部では、2009年のマグマ貫入に相当する時期に速度低下を示す基線も検出できた。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Hotta, K., Iguchi, M., Ohkura, T. and Yamamoto, K., Multiple-pressure-source model for ground inflation during the period of high explosivity at Sakurajima volcano, Japan Combination analysis of continuous GNSS, tilt and strain data, J. Volcanol. Geotherm. Res., 310, 12-25, 2016.

Hotta, K., Iguchi, M. and Tameguri, T., Rapid dike intrusion into Sakurajima volcano on August 15, 2015, as detected by multi-parameter ground deformation observations, Earth Planets Space, 68, doi: 10.1186/s40623-016-0450-0.

(10) 平成29年度実施計画の概要 :

次の5つのテーマに基づいて研究をすすめるために、地震、地盤変動、重力、熱、噴出物などの観測を継続する。

[1] 爆発現象に前駆する短期的マグマの蓄積過程及びマグマ放出過程の解明

[2] 長期的マグマ蓄積過程・放出過程の解明

[3] 火山体構造の時間変化に基づくマグマ供給系の発展過程の解明

[4] 先行マグマ物質の分析によるマグマ供給系の発展過程の解明

[5] マグマ挙動のモデリング

また、平成28年度に実施した人工地震探査のデータを解析し、地下構造の長期的時間変化を明らかにする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井口正人、中道治久、山本圭吾、為栗健、大見士朗

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学大学院理学研究科(大島弘光、中川光弘)

秋田大学工学資源学部(筒井智樹)

東北大学大学院理学研究科(西村太志、太田雄策、小園誠史)

東京大学地震研究所(大久保修平、及川純)

東京大学大学院理学系研究科(森俊哉)

東京工業大学火山流体研究センター(野上健治、神田径)

常葉大学環境防災学部(嶋野岳人)

名古屋大学大学院環境学研究科(山中佳子)

京都大学大学院理学研究科（大倉敬宏、横尾亮彦、宇津木充）
 九州大学大学院理学研究院（清水洋、松島健、相澤広記）
 鹿児島大学理学部（宮町宏樹、中尾茂、八木原寛）

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
 部署等名：京都大学防災研究所火山活動研究センター
 電話：099-293-2058
 e-mail：iguchi.masato.8m@kyoto-u.ac.jp
 URL：http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.html

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
 氏名：井口正人
 所属：京都大学防災研究所

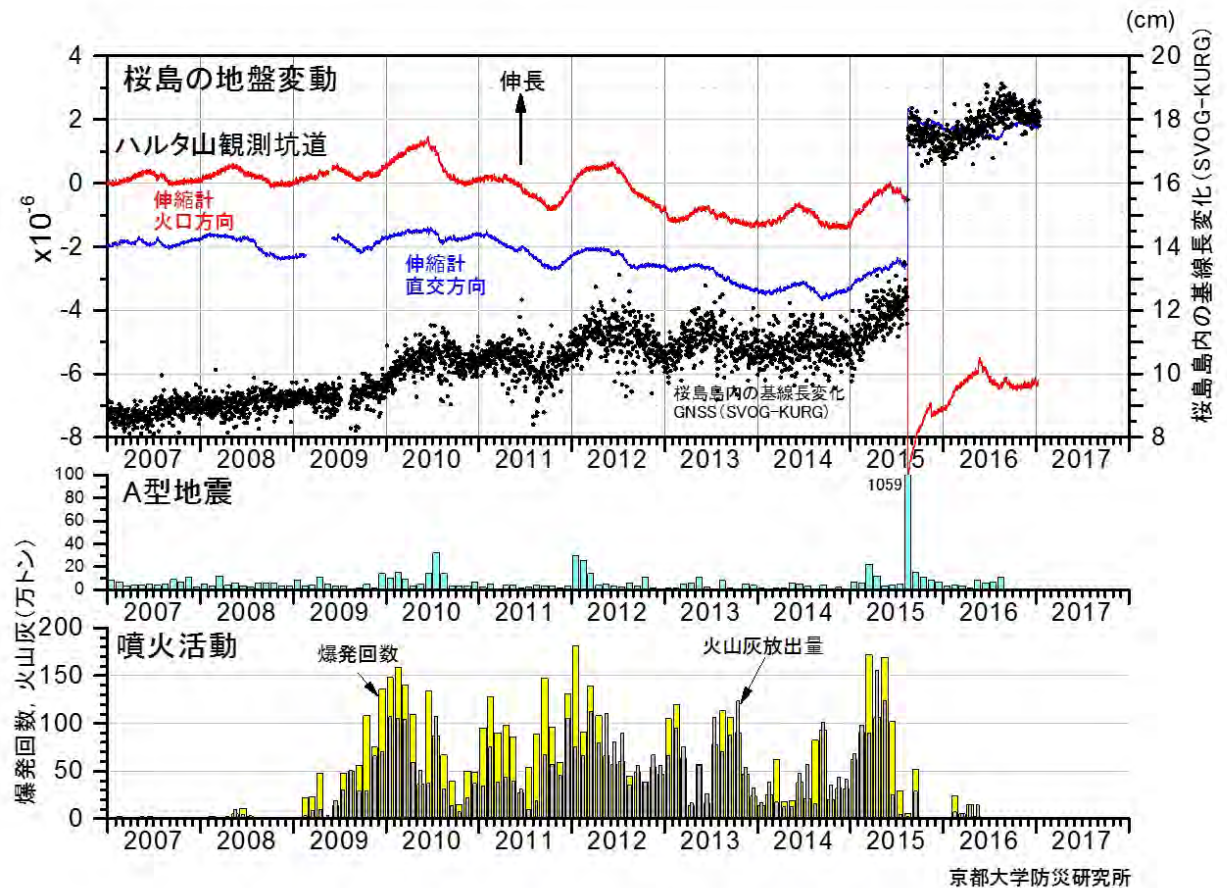


図1. 2007年1月～2015年6月の桜島の地震活動，地盤変動，噴火活動
 上段：ハルタ山観測坑道におけるひずみ変化（赤：南岳火口方向，青：直交方向）およびGNSS観測による桜島の東西基線（SVOG - KURG）の変化（黒）。中段：A型地震月別発生回数。下段：月別爆発回数（黄）及び火山灰放出量（灰）

京都大学防災研究所

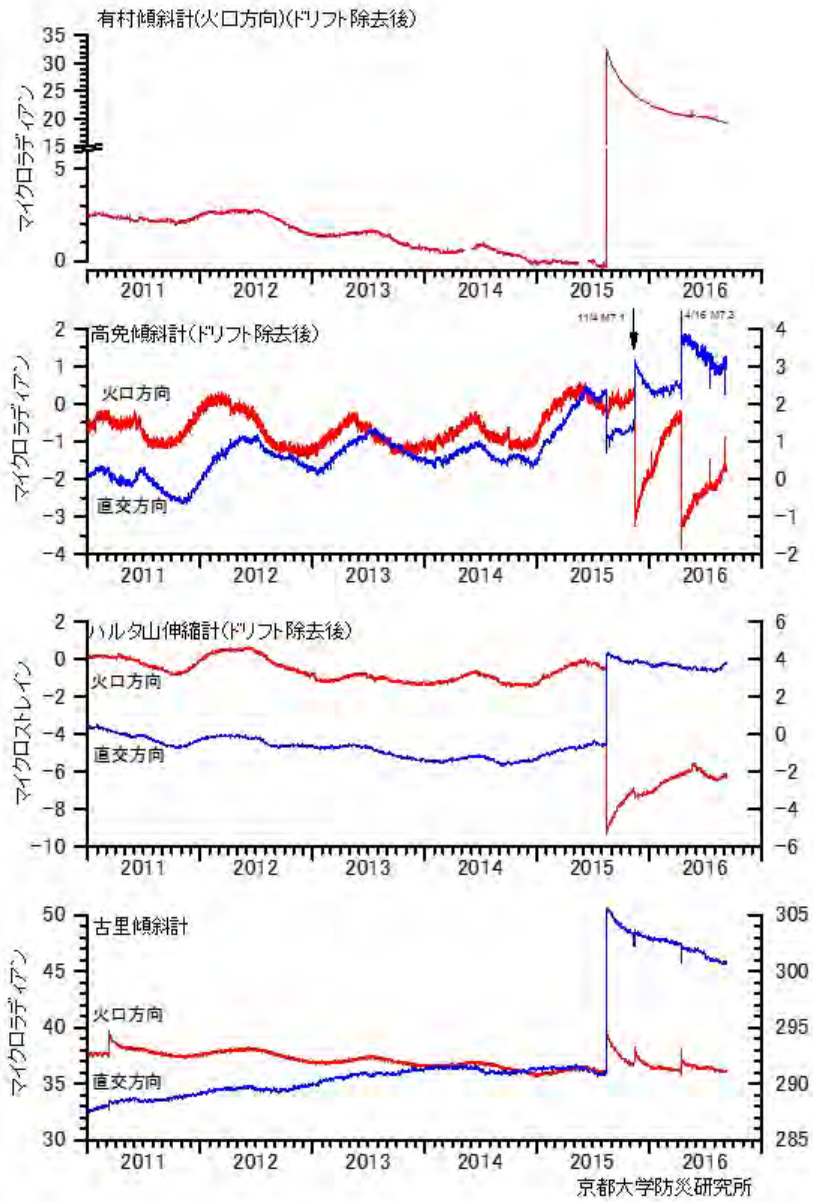


図 2 . 桜島島内の傾斜変化

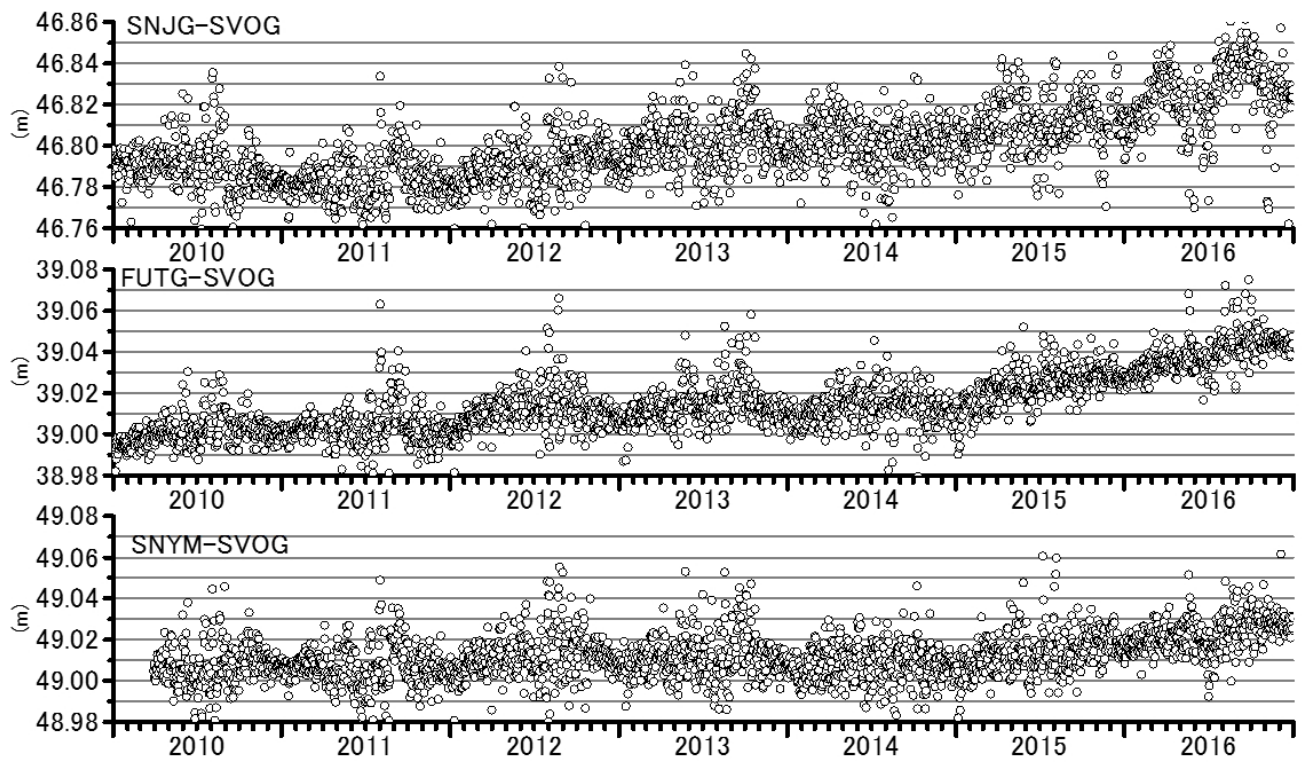


図 3 . GNSS 連続観測によって検知された桜島北部の隆起
 2015 年 1 月から桜島北部の隆起速度が大きくなった .

相対遅延の大きさ(2015.08.15 06:00-18:00) 相対遅延の大きさ (2015.08.15-08.17)

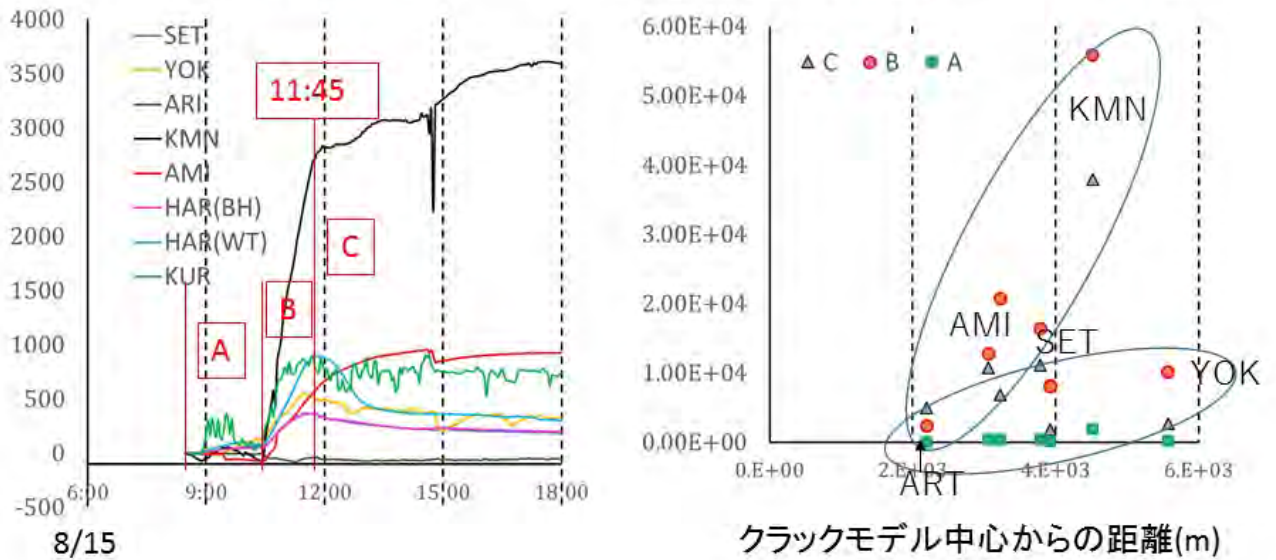


図4. 傾斜変化の相対遅延

15日 11:45 分頃に多くの点で遅延が解消し始める。ART から見た遅延は概ね力源からの距離に伴い大きくなる。クラックの開口方向は応答が速く、走向方向は応答が遅い。

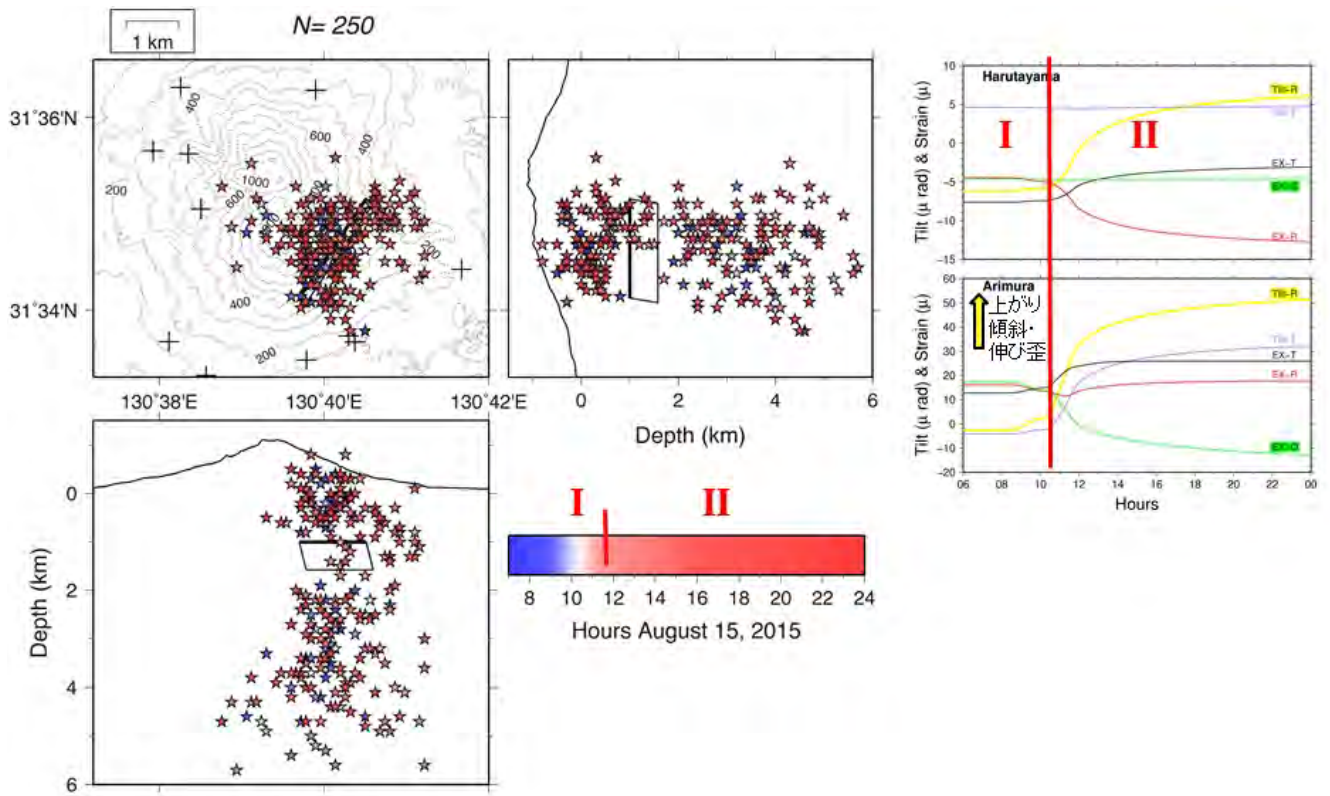


図5 . ASL 法による 20105 年 8 月 15 日の震源位置

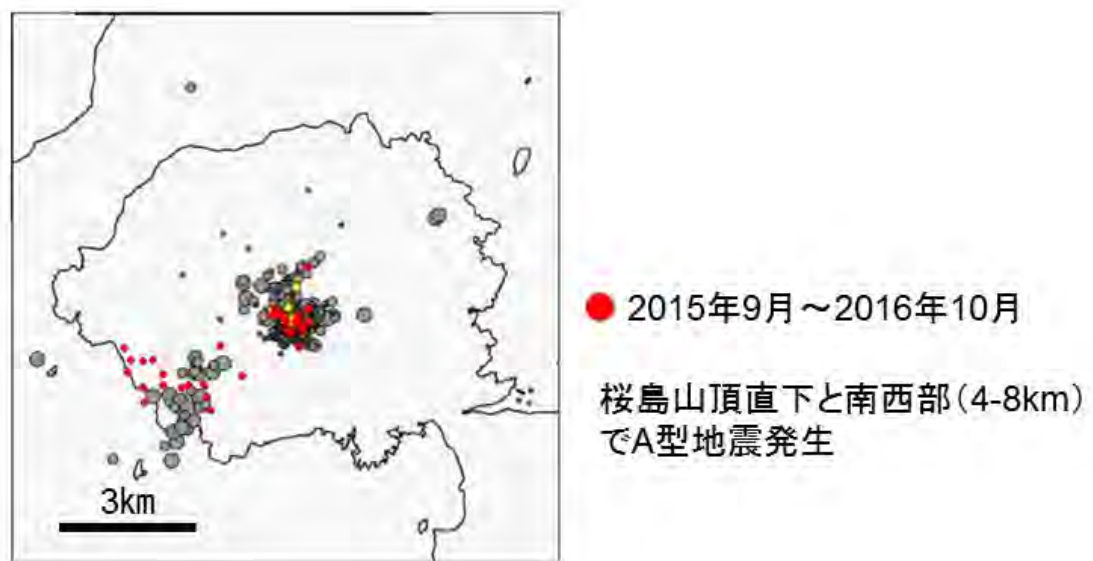


図6 . 2015 年 9 月以降の A 型地震の震源位置

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

焼岳火山の噴火準備過程の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

飛騨山脈の焼岳火山は、東北地方太平洋沖地震の直後に地震活動が非常に活発化するなど、今後の動向を注視する必要がある火山のひとつであると考えられることから、同火山において複数項目の観測を行い、その火山噴火準備過程の理解に資する。本計画では、現状では手薄な地盤変動の観測研究を中心に、すでに実施中の微小地震観測や、他機関によって実施されている赤外熱映像観測等のデータの集約と解析を行い、将来の火山防災に資するための基礎データとすることを目的とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

焼岳火山においては、大学、気象庁、国交省砂防部局、長野県等が各種観測機器を設置してデータを取得しているが、各データが有機的に集約されているとは言いがたいのが現状である。本計画では、既存データの有機的な集約・統合を試みつつ、既存の観測で取得されていない地盤変動データを集中的に取得することで同火山の噴火準備過程の理解に資する。地盤変動データは、噴火の直前過程において微小地震観測データに先行して変化が現れる可能性があり、基礎データとして平常時のデータを取得しておくことは特に重要である。以下、年度別の計画を記述する。

平成 26 年度：現計画で実施中の焼岳近傍での微小地震観測および解析を継続すると共に山体近傍へ地震計の再設置を含めた観測点配置の再検討を行う。また、山体に傾斜計を設置するための地点選定と、そのための各種許認可手続きを開始する。傾斜計観測点は、山体を囲むように、長野県側に 2 点、岐阜県側に 1 点の計 3 点を計画している。1 点はポアホール型、他の 2 点は気泡型の予定である。平成 26 年度は気泡型傾斜計 1 点の設置まで行う。さらに、現在オフライン方式で継続している長野県側の地震観測点の一部を、携帯電話サービスを使用した簡易的なテレメータ観測点に改造することを試みる。なお、傾斜計本体は別経費で調達する。

平成 27 年度：微小地震観測を継続するとともに、引き続き傾斜計設置のための許認可手続きを行う。また、ポアホール型傾斜計 1 点の設置作業を行う。

平成 28 年度：微小地震観測を継続するとともに、引き続き傾斜計設置のための許認可手続きを行う。また、気泡型傾斜計 1 点の設置作業を行う。

平成 29 年度：微小地震観測およびその解析の継続、さらには傾斜観測データの解析を行う。また、国交省砂防部局が取得している赤外熱映像データの解析手法を開発し、同データを有効利用する手立てを検討する。

平成 30 年度：傾斜観測データの解析から、データの精度チェックおよび 2 年間の地殻変動の評価を行う。微小地震観測および熱映像解析もあわせて行い、本計画の総括を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 27 年度に引き続き、文部科学省の「火山地域での効率的な機動的集中観測研究システムの構築事業」(以下、機動的集中観測システムという)による観測設備の設置調整作業を行った。「機動的集中観測システム」構築計画の内容は、当課題の目標とも合致すること、また、平成 27 年度に設備の設置調整作業を終了できなかったことから、平成 28 年度も本システムの完成と安定稼働を主たる目標として実施した。

「機動的集中観測システム」では、図に示す上高地下堀沢 (DP.SMHZ)、焼岳中尾峠 (DP.NKOT)、焼岳山頂 (DP.YKEP) の 3 点の観測点を構築した。このうち、DP.SMHZ と DP.NKOT は平成 27 年度に完成している。本年度は焼岳山頂観測点 (DP.YKEP) の構築作業を実施し、短周期地震計、気泡型傾斜計、プロトン磁力計、高精度地中温度計を設置した。これらのデータは、他の既存観測点のデータとともに京都府宇治市の防災研究所にテレメータされており、現在、データ品質の評価を行っている。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

大見士朗、2016、飛騨山脈南部脊梁部で発生する地震による震源域近傍での震度について-2014 年 5 月飛騨山脈南部の地震活動の例-、地震 2、69、印刷中。

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

地震および地殻変動観測とそのデータ解析を継続する。また、山頂周辺の噴気帯での熱映像観測を行うとともに、国交省砂防部局が取得している赤外熱映像データの解析手法の開発を模索する等、同データを有効利用する手立てを検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所：大見士朗、加納靖之

他機関との共同研究の有無：有

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設：横尾亮彦

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所地震防災研究部門

電話：

e-mail：

URL：

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：大見士朗

所属：京都大学防災研究所地震防災研究部門



Fig.1

焼岳火山近傍の観測点の分布。 をつけた3点のうち「焼岳山頂」とあるのが平成28年度に完成したDP.YKEP観測点である。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

短スパン伸縮計等を活用した西南日本における短期的 SSE の観測解析手法の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

南海トラフから沈み込むプレート境界深部で発生する短期スロースリップイベント (SSE) を新たな観測と解析手法の高度化によって詳細にモニタリングする手法を構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

GNSS (GEONET) データと既存および新設する観測網による地殻変動連続観測データを併合処理して、西南日本に発生する短期的スロースリップイベント (SSE) を時空間的に精度良く検出する手法を開発し、南海トラフ沿いのプレート境界深部における滑りのモニタリングを高度化する。そして、検出された短期的 SSE の発生頻度や規模からプレート境界深部における滑り特性を把握する。さらに、併合処理によって明らかにされる短期的 SSE 発生時の地殻変動の大きさや時定数をふまえて、長期間のデータの蓄積がある地殻変動連続観測データの再解析を行い、過去の短期的 SSE の発生状況を明らかにして南海トラフの巨大地震の発生サイクルの中で SSE の発生が時間変化しているのかどうかを調査する。

短期的 SSE の稠密観測を実現するために、短スパン伸縮計 (基準尺が 50 cm ~ 1.5 m) を開発し、地殻変動観測の新たなツールとする。開発にあたっては、アレイ観測や臨時観測に用いることを念頭とし、ひずみ地震動や火山などでの地盤変形計測にも対応することを目指す。また、従来の横坑式伸縮計の補正や置き替えの可能性についても検討する。

短期的 SSE は、巨大地震発生域に隣接した深部延長領域で数ヶ月に一度発生しており、巨大地震震源域への応力蓄積過程を理解する上で重要な現象である。また、大地震発生サイクルの数値シミュレーションから、地震サイクル中に短期的 SSE の発生頻度が変化することや、短期的 SSE の準静的滑りが巨大地震の動的滑りにまで成長することがあることが予想されており、短期的 SSE と巨大地震の発生は密接に関連していると考えられる。よって本課題は、南海トラフの巨大地震を対象としたプレート境界滑りのモニタリング手法の高度化に資することを目的とする。具体的な実施項目の年次計画は、以下の通り。

平成 26 年度：基準尺 1.5 m の短スパン 3 成分伸縮計の仕様の確定と計器の完成。紀伊半島での稠密アレイ観測を開始。GNSS データを用いた短期的 SSE 推定手法の改良。地殻変動連続観測データにおける短期的 SSE に関連するシグナルの抽出。

平成 27 年度：基準尺 50cm の超短スパン伸縮計開発の開始と紀伊半島における短スパン伸縮計での観測の継続。GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理による短期的 SSE 推定手法の開発。地殻変動観測データの整理 (潮汐・気象擾乱の補正、デジタイズ) 。

平成 28 年度：基準尺 50cm の超短スパン伸縮計開発の完成と紀伊半島における短スパン伸縮計での観測の継続。GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理による短期的 SSE 推定手法の開発。地殻変動観測データの整理 (潮汐・気象擾乱の補正) 。

平成 29 年度：紀伊半島における短・超短スパン伸縮計での観測の継続。過去の地殻変動データを用いた SSE 発生履歴の推定。地殻変動観測データの整理 (潮汐・気象擾乱の補正) 。

平成 30 年度：紀伊半島における短・超短スパン伸縮計での観測の継続。短期的 SSE 発生の発生状況の総括と地震サイクルにおける考察。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

短スパン伸縮計の開発及び観測網の構築に関しては、基準尺 1.5 m の短スパン伸縮計 (3 成分) による紀伊半島での 2 か所の観測を継続した。また、個々の短期的 SSE の発生履歴を調査するため、当初平成 29 年度から行う予定であった古い地殻変動観測データの解析を開始した。京都大学防災研究所紀州観測点 (三重県熊野市) では、1940 年代から観測がはじまり、1947 年から土地傾斜の観測をはじめている。現在、1948 年以降の横坑傾斜計の記録の存在を確認している。プロマイド記録であり、各用紙に 1 週間程度記録されている。記録紙をデジタル画像化し、簡単なアルゴリズムで数値化した。その上で、現在の観測データも参照しながら、記録されている傾斜変化について検討を行った。

短期的 SSE の解析手法の高度化に関しては、GNSS 単独での SSE 検出手法の改良と実データへの適用に引き続き取り組んだ。今年度は関東地方で発生する短期的 SSE を対象に GEONET データの解析を進め、1994 年以降、フィリピン海プレート境界面上 (図 1) と太平洋プレート境界面上 (図 2) の両方で短期的 SSE が発生していることが明らかになった。太平洋プレート境界面上の短期的 SSE は銚子沖で発生数が多く、すべりの継続時間も短いという特徴がある。この場所は、海底地形や重力から

海山が沈み込んでいることが示唆され、プレート境界面の形状が SSE の発生しやすくさせるという仮説 (Wang and Bilek et al., 2014) を指示する結果となった。

さらに、GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理を行うため、短スパン伸縮計を用いた予備的な解析を行った。いくつかの短期的 SSE について GNSS データから推定された断層モデルから、短スパン伸縮計において想定されるひずみ変化を計算し、短スパン伸縮計のノイズレベルを超える数十 microstrain のシグナルが期待されることがわかった。実際の短スパン伸縮計にも、SSE に伴うと思われる数十 microstrain のシグナルが見られるが、振幅や極性は異なるものもあり、ひずみデータを入れて断層モデルの推定を行うことやひずみデータのトレンド補正を工夫する必要があることがわかった。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
加納靖之・細善信・尾上謙介, 2017, 1970 年代の紀伊半島の傾斜計記録の復元, 東濃地震科学研究所
報告, 35

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

短スパン伸縮計の開発及び観測網の構築に関しては、引き続き、短スパン伸縮計による観測を継続し、紀伊半島西部において、既存の伸縮計観測点も含め、深部低周波微動の発生域をとり囲むような観測網を運用する。これらのデータから、深部低周波微動にともなって発生する地殻変動の時空間分布を把握し、その発生様式について調べる。さらに簡易性を高めるために開発した、基準尺が 50 cm の超短スパン伸縮計による観測をおこなう。短期的 SSE の解析手法の高度化に関しては、GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理による短期的 SSE 推定手法の開発を継続するとともに、今まで短期的 SSE の網羅的検出が行われていない東北地方においても短期的 SSE の解析を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

京都大学防災研究所 西村卓也、加納靖之、山崎健一、伊藤喜宏
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所 地震予知研究センター
電話 :
e-mail :
URL : <http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 西村卓也
所属 : 京都大学防災研究所地震予知研究センター

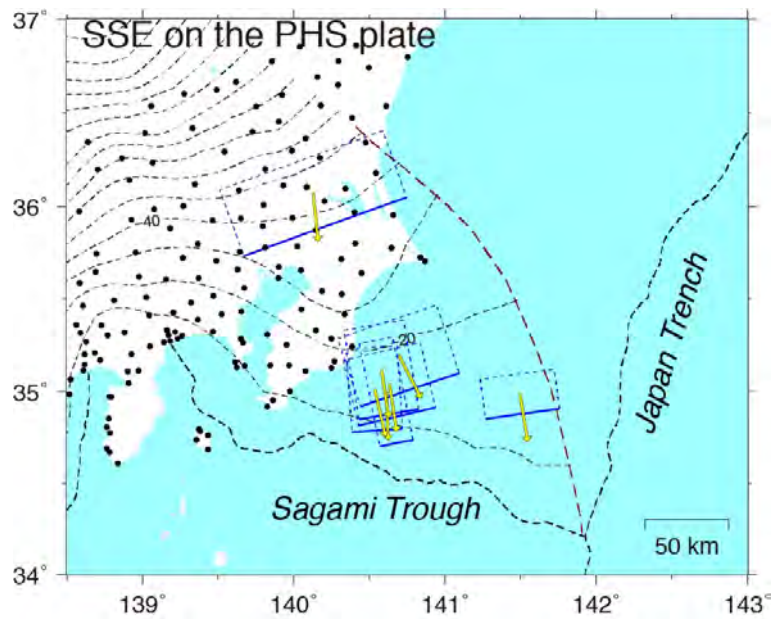


図1 陸側プレートとフィリピン海プレート境界面上で発生した短期的 SSE の断層モデル .
 解析期間は 1994 年 7 月 ~ 2015 年 9 月 . 青四角が矩形断層モデルの位置 , 黄矢印がスリップベクトルの方向を表す . 茶色の破線はフィリピン海プレートの東縁 . 黒の破線はフィリピン海プレート境界面の等深線 (10km 間隔) .

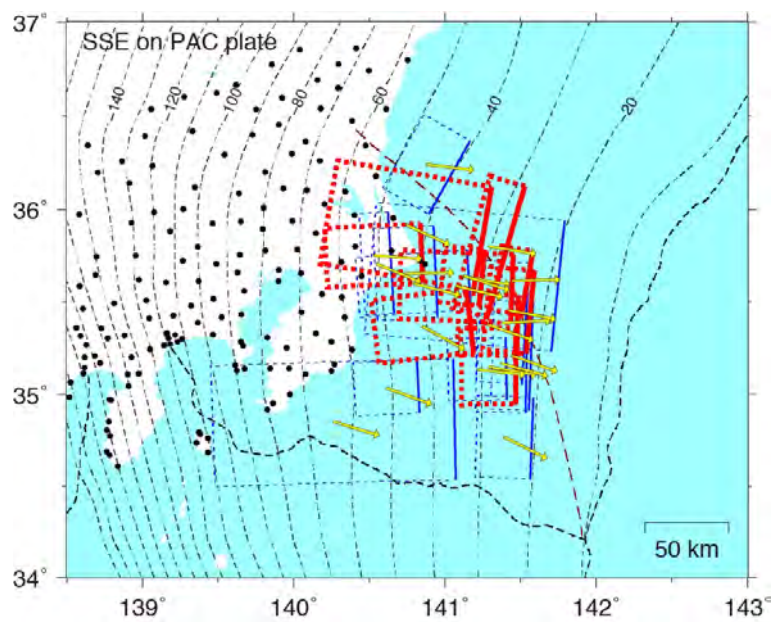


図2 太平洋プレート境界面上で発生した短期的 SSE の断層モデル .
 解析期間は 1994 年 7 月 ~ 2015 年 9 月 . 赤四角は継続時間が 3 週間以下 , 青四角は継続時間が 3 週間以上の短期的 SSE の断層モデルを表す . 黒の破線は太平洋プレート境界面の等深線 (10km 間隔) . それ以外は図 1 と同じ .

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

プレート境界巨大地震等の広帯域強震動予測に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界巨大地震や内陸地殻内地震等を対象として、広帯域強震動生成のための震源モデル、地殻構造モデルおよび大阪盆地等の堆積盆地構造モデルの高度化を行い、長周期地震動を含む広帯域強震動予測手法の構築を目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震災害誘因の事前評価としての広帯域強震動予測を行うために、震源モデル、震源から観測サイトまでの地殻・地盤速度構造モデルの高度化を進める。震源モデルに関しては、担当者らを含むグループがこれまで行ってきた広帯域の震源不均質モデルをベースに、研究課題「プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究」の研究成果も導入する。地殻・地盤速度構造モデルの高度化は、全国一次地下構造モデルのような全国レベルのモデルを含む既往モデルに対して、そのモデルの妥当性の検証を進めることによって問題点を発見し、モデルの修正・高度化を行う。速度構造モデルの妥当性の検証には、各観測網によって得られている中規模地震の波形記録を活用した波形モデリングを行う。また、適切な観測記録が少ない地域においては、微動連続記録の地震波干渉法解析により観測点間グリーン関数を求め、地下構造モデルに基づく理論的グリーン関数と比較する。大阪盆地等の大規模堆積盆地において、地震動特性把握のための臨時的強震観測や微動観測を行い、速度構造のモデリングに利用する。南海トラフ等を震源域とするプレート境界巨大地震の震源域および大阪平野等での地震動評価を行う。

各年度の研究計画を以下に示す。

平成 26 年度 既往広帯域震源モデルの整理と問題点抽出

	強震記録・連続地震記録等の収集、観測点グリーン関数構築，強震観測
平成 27 年度	広帯域震源モデル問題点の改良 地下構造モデル妥当性検証、強震観測
平成 28 年度	広帯域強震動予測手法プロトタイプ提案。既往地震による検証。 地下構造モデル妥当性検証継続・モデル改良、強震観測
平成 29 年度	広帯域強震動予測手法プロトタイプの問題点の改良 地下構造モデル妥当性検証・モデル改良継続、強震観測
平成 30 年度	広帯域強震動予測手法の提案 南海トラフ地震等の広帯域シミュレーション、強震観測

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

京都盆地では反射法探査、重力探査、微動アレイ探査といった物理探査が行われ、堆積盆地基盤に至るまでの堆積層の速度構造モデルが作られている（京都府地震被害想定調査委員会, 2006）。このモデルに対して、実地震波形記録を用いたモデル検証はほとんど行われていないことから、本研究では、近地地震の P 波部分の Radial 成分と Vertical 成分によるレシーバ関数（以下 R/V レシーバ関数）を用いた検証を行った。

京都盆地内外の各機関における強震・震度観測点 42 点の波形データを収集し、使用した。ここには本課題で継続している京都市内の強震観測点記録も利用している。各観測点におけるイベント毎の R/V レシーバ関数は、震央方位や震源深さに依らず、類似していたので、観測点毎に R/V レシーバ関数をスタックしたものを、観測 R/V レシーバ関数とし、その最大ピーク出現時刻を読み取った。観測 R/V レシーバ関数の最大ピーク出現時刻が、震源から観測点までの速度構造のうち、最も顕著な速度差をもつ盆地基盤上面と堆積層の境界における PS 変換波と直達 P 波の走時差である観測 PS-P 走時差に対応すると考え、既存の京都盆地速度構造モデルから観測点直下の 1 次元速度構造を抜き出し、モデルによる PS-P 走時差と、観測 PS-P 走時差と比較すると、多くの観測点ではよい対応を示しているが、盆地端部に位置するいくつかの観測点では両者の比が大きく、モデルの修正が必要であることがわかった。観測 PS-P 走時差説明のため、観測点直下の 1 次元速度構造モデルの基盤深度を変化させてモデルの修正を行った。

この観測 R/V レシーバ関数の最大ピークが、盆地基盤での PS 変換波によるものかどうかを、離散化波数法による 1 次元成層構造モデルにダブルカップル点震源を与えた理論波形から得られる理論 R/V レシーバ関数と比較することで確認を行った。改良地下速度構造モデルによって得られた理論 R/V レシーバ関数は、観測 R/V レシーバ関数をよりよく再現していること、また観測 R/V レシーバ関数に現れている後続のピークが PPPS 変換波に対応するものであることがわかった。PPP-S 時間差は一部の観測点で観測とモデルの対応していないことから、この点の修正を行うことで堆積層の速度構造モデルをさらに改良することができると考えられる。（下村・他, 2016）

大阪堆積盆地の地下構造モデルに関して、モデルの妥当性検証を地震動シミュレーションによって継続している（例えば Sekiguchi et al., 2106）。2011 年東北地方太平洋沖地震時の大阪盆地での長周期地震動観測の解析と震源域から観測サイトを含むモデルシミュレーションを行い、大阪湾岸地域や東大阪（河内平野）での長周期地震動応答特性の再現を行った。震源モデルには Asano and Iwata(2012)の強震動生成モデルを用いた。この結果、大阪盆地での長周期地震動は、主として福島・茨城県沖の強震動生成域によって励起されたことがわかった。（Iwata et al., 2016）

地震時の断層すべり破壊において、破壊がどのように伝播するかは、地震波の特に短周期成分の生成状況に大きな影響を与える。地震動予測のための震源モデルの設定において、妥当な短周期地震動を生成する妥当な破壊伝播の不均質性を設定する方法を見いだすことを目的として、動力的シミュレーションによって得られた動力的震源モデルの破壊伝播の様相を調べた。用いた動力的震源モデルは、大阪平野に存在する上町断層帯の地震の震源過程を推定するために行われた動力的シミュレーションによって生成されたもの（加瀬・関口, 2017）で、初期応力場に断層面の幾何形状による長

波長不均質および $k-1$ スペクトルを持つ短波長不均質を仮定している。この動学的震源モデルの破壊伝播速度、破壊伝播加速度、応力降下量、クラック抵抗 (Andrews, 1976) の空間分布や、パラメータ間の相関を調べたところ、破壊伝播速度は $k-1$ スペクトルを持つこと、破壊伝播速度が大きいほど破壊伝播加速度の取る値の幅が狭まることがわかった。一方、破壊伝播速度と他のパラメータとの相関については、応力降下量との相関はほとんど見られず、クラック抵抗との相関は見られたがばらつきが大きい。Guatteri et al.(2014) ではクラック抵抗から Andrews(1976) の式を使って疑似動的に破壊伝播速度を導いているが、ここで解析した動学的震源モデルではクラック抵抗の値は、Guatteri et al.(2014) の例とはオーダーで異なり適用不能とわかった。

堆積盆地構造の地震応答を実測し、地盤構造モデルの改良に用いるため、京都盆地と関東平野の中川低地では、既設観測点の保守と観測継続を行い、強震データ蓄積を継続した。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Iwata, T., H. Kubo, K. Asano, K. Sato, and S. Aoi (2016), Long-period Ground Motion Characteristics and Simulations in the Osaka Basin during the 2011 Great Tohoku Earthquake, Proc. 5th IASPEI/IAEE Int. Symp. on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Taipei, paper I101A.
- Sekiguchi, H., K. Asano, T. Iwata, M. Yoshimi, H. Horikawa, H. Saomoto, and T. Hayashida (2016), Construction of a 3D Velocity Structure Model of Osaka Sedimentary Basin, Proc. 5th IASPEI/IAEE Int. Symp. on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Taipei, paper P103B.
- 下村智也・浅野公之・岩田知孝 (2016), レシーバ関数を用いた京都盆地の地震基盤深度之推定, 2016 年地震学会秋季大会, S16-P12.

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

観測記録に基づく堆積盆地地盤応答特性の抽出と分析を継続し、既往の地下速度構造モデルの妥当性検証と改良を継続する。広帯域強震動予測を目的とする巨大地震の震源モデル検討を行う。引き続き、強震観測を行い、地盤応答特性把握のための記録の取得に努める。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

関口春子

岩田知孝

浅野公之

他機関との共同研究の有無 : 無

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所社会防災研究部門 (都市防災計画)

電話 : 0774-38-4286

e-mail : sekiguchi.haruko.6u@kyoto-u.ac.jp

URL :

- (13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 関口春子

所属 : 京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

強震動によって発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

斜面の地すべり現象(地すべり・崩壊・土石流を総称)は、地震による最も大きな災害要因の一つであり、山間地とともに都市域の造成地でも発生している。2011 年東北地方太平洋沖地震時には、事前降雨が極めて少なかったため、発生数、発生域ともに限られていたが、近い将来大規模な地震が予測される南海トラフの地震や首都直下地震、およびその他の内陸地震では、それとは比較にならないほど広域かつ甚大であると考えられる。これらの地震による地すべり現象の発生には、地質、地質構造、地下水、地震波の斜面内部での挙動など、様々な要因が関与するが、地震による地すべり発生のメカニズムと発生場についての研究は極めて立ち遅れているのが現状である。本研究では、これらの要因と地震時地すべり現象発生との関連を事例研究および観測研究によって明らかにし、地震動に伴って発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法の高度化を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では、地域的多様性を考慮したハザード評価手法の構築と観測・実験・シミュレーションによる災害発生メカニズムの検討(二次災害のハザード評価を含む)の二つのサブテーマをセットとして推進する。

1) 地域的多様性を考慮したハザード評価手法の構築 - 過去の事例の地質・地形的要因の調査・分析とハザードマップ作成手法の構築 -

地すべりと地震との関係を、有史前までさかのぼって野外調査と室内分析によって分析し、地すべり発生事前予測のための指標を明らかにする。特に航空レーザー計測による詳細地形の活用を図る。さらに、地すべりと震源断層との関係、地すべりに先行すると考えられる斜面重力変形地形の特徴、および、地震に弱い岩石の風化帯構造や谷埋め堆積物の構造を解明し、地質・地形的にみた地震時ハザードマップ作成手法を、科学的にも実用的にもレベルの高いものとして構築する。

2) 観測・実験・シミュレーションによる災害発生メカニズムの検討 - 斜面内での地震動の観測、及びそれが引き起こす地下水と斜面変位への影響の解明 -

現在、地震計・強震計の多くは、比較的平坦で堅固な地盤に設置されているため、斜面での地震動の観測は不十分なままである。本研究では、サブテーマ1で抽出した不安定候補斜面と過去に発生した地すべり斜面と堆積物(天然ダムを含む)において、以下の三点を実施する。

1. 斜面内に地震計の多点アレイを設置し、地震波の斜面内の挙動を明らかにする。
2. 斜面内に観測孔を掘削し、地震計、間隙水圧計、傾斜計を設置し、地震動が引き起こす間隙水圧の変化と斜面の変動への影響を明らかにする。
3. 上記の成果を基に、室内実験とシミュレーションを組み合わせ、今後予測される地震の斜面の安定性への影響を評価する方法を構築する。

(8) 平成28年度の成果の概要:

航空レーザー計測データを活用したハザードマップ作成手法について、甚大な被害を引き起こす降下火砕物についての試案をとりまとめた。西南日本の海溝型地震による既往斜面崩壊分布を文献調査し、現地調査を開始した。関東地方南西部の降下火砕物には1923年関東地震などによって流動的崩壊が多数発生したことがわかり、また、および西南日本外帯の付加体の堆積岩と変成岩の大規模崩壊には地質・地形的タイプがあることの見通しが得られた。昨年度末にインストールした新しい加速度・傾斜センサーによって2016年4月1日11:39に三重県の南東沖で発生したマグニチュード6.5の地震について、基盤から移動土塊、地表面に至る地震動の増幅過程を明らかにすることに成功した(図1)。盛土における地震時の不安定度の危険度評価をおこなうため、kHzオーダーのサンプリング周波数を持つ計測システムを導入し、高感度加速度計を用いた屈折法探査を実施することにより、アスファルトに覆われた地盤でも簡便に地下水位を非破壊で推定することに成功した。

2016年4月16日に発生した平成28年(2016年)熊本地震による斜面災害の分布を調査し、さらに現地調査をおこなった。自然斜面の地すべり・崩壊は、カルデラ内の西部とカルデラ壁斜面において集中的に発生し、岩盤急斜面の崩壊とともに、傾斜10度前後の緩斜面でも急速な地すべりが発生したことがわかった(図2)。後者のほとんどは草千里ガ浜軽石などの風化した軽石またはその近傍、および黒土にすべり面を持つことが明らかになった。阿蘇大橋西側の崩壊は、その前兆として、事前に斜面が重力によってずり下がり、小崖が形成されていたことがわかった(図3)。軽石層からサンプルを採集し含水比、密度など各種パラメータを推定したうえで、リングせん断試験機を用いてせん断実験をおこなったところ、軽石層の強度や間隙水圧の発生メカニズムが明らかになった(図4)。(谷埋め)盛土斜面において、亀裂分布から地すべりは旧谷地形と一致し、また、その領域で被害が卓越することがわかった。南阿蘇村の住宅地の地すべりにおいては、同定した地すべりブロック内を横切って地表(分岐)断層の変位が見られた。実施した表面波探査によっても断層が深部から地表まで続く低速度帯としてイメージされた(図5)。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

Chigira, M. & Suzuki, K. 2016. Prediction of earthquake-induced landslides of pyroclastic fall deposits. In: Aversa et al. (eds.) Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice. Associazione geotecnica Italiana, Rome, 93-100. Invited paper.

Wang, G., CHIGIRA, M., SUZUKI, T., 2016. Post shear behavior of pyroclastic fall deposits and landsliding phenomena during the 1949 Imaichi earthquake Japan Geosciences Union Meeting 2016, Makuhari.

- 千木良雅弘, 古木宏和, 笠間友博, 鈴木毅彦, 2016. 震生湖をつくった地すべりは神奈川から東京に広く分布する東京軽石層内にすべり面をもっていた 日本地球惑星科学連合大会 2016, 幕張.
- 釜井俊孝・土井一生・稲垣秀輝, 2016. 谷埋め盛土を含む "街" の地震応答, 日本地すべり学会第 55 回研究発表会高知大会, 1-36.
- 王功輝・土井一生・釜井俊孝, 2016. 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震時に生じた南阿蘇村の流動性崩壊, 日本地すべり学会第 55 回研究発表会高知大会, 1-31.
- 土井一生・釜井俊孝・佐藤朗・王功輝・千木良雅弘・小川内良人・川島正照, 2016. 加速度・傾斜一体型センサーの開発とクリープ斜面での観測事例, 日本地すべり学会第 55 回研究発表会高知大会, 1-35.
- 釜井俊孝 (2016): 2016 年熊本地震による斜面災害, 日本地震工学会誌, 29, 27-32.
- 土井一生・釜井俊孝・村尾英彦・久保久彦, 2016. 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震に伴う阿蘇谷北西部における亀裂の分布と成因 - 特異な地震波形記録との関連 -, 2016 年日本地震学会秋季大会予稿集, S3-P21.
- 土井一生・釜井俊孝・佐藤 朗・王 功輝・千木良雅弘・小川内良人・川島正照、新しい傾斜計・加速度計一体型センサーの開発、平成 28 年度応用地質学会研究発表会予稿集、67-68, 2016.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震によって発生した深層崩壊について、航空レーザー計測データを用いて地形解析するとともに、現地調査を行い、それらの特徴を明らかにし、また、共通する地質・地形的特徴を抽出し、今後の海溝型地震による発生場所予測手法を検討する。

これまで地震観測を展開してきた四国の受け盤大規模岩盤斜面、紀伊山地の重力変形斜面、東京都の盛土斜面、北海道の海岸地すべりにおいて継続して観測をおこなう。また、観測されたデータの解析や波動シミュレーションから、斜面の地震応答特性を見積もり斜面全体の揺れ方を把握し、斜面安定性に影響を与える地震動の特徴抽出をおこなう。また、水圧や傾斜、地表変位などの他項目観測との比較から、地震時の斜面内部で起こっている現象や斜面が不安定となる地震動の大きさを見積もる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

- 千木良雅弘 (京都大学・防災研究所・教授): 総括、サブテーマ 1 (主査)、サブテーマ 2
- 釜井俊孝 (京都大学・防災研究所・教授): サブテーマ 1、サブテーマ 2 (主査)
- 松浦純生 (京都大学・防災研究所・教授): サブテーマ 2
- 松四雄騎 (京都大学・防災研究所・准教授): サブテーマ 1
- 王 功輝 (京都大学・防災研究所・准教授): サブテーマ 1、サブテーマ 2
- 土井一生 (京都大学・防災研究所・助教): サブテーマ 2
- 他機関との共同研究の有無 : 有
- 西山賢一 (徳島大学・環境防災研究センター): サブテーマ 1
- 山崎新太郎 (北見工業大学・工学部・社会環境工学科): サブテーマ 1

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

- 部署等名 : 京都大学防災研究所地盤災害研究部門
- 電話 : 0774-38-4097
- e-mail :
- URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

- 氏名 : 千木良雅弘
- 所属 : 京都大学防災研究所地盤災害研究部門

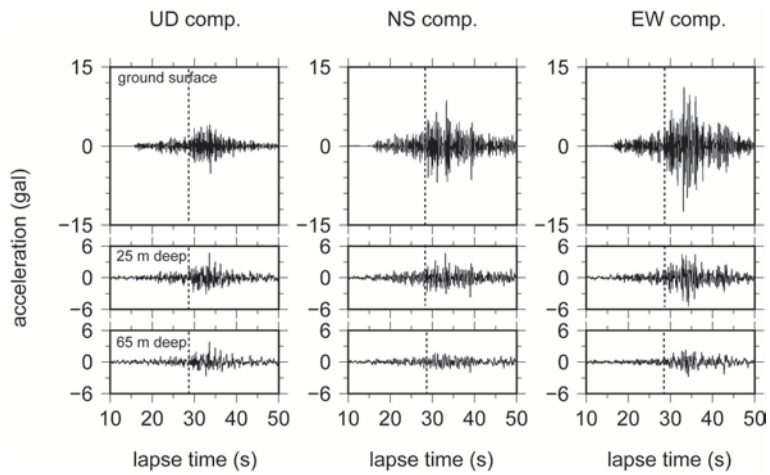


図 1：観測された加速度波形。

上から、地表、深さ 25 m、深さ 65 m の記録をあらわす。また、左から、上下、南北、東西の各成分をあらわす。

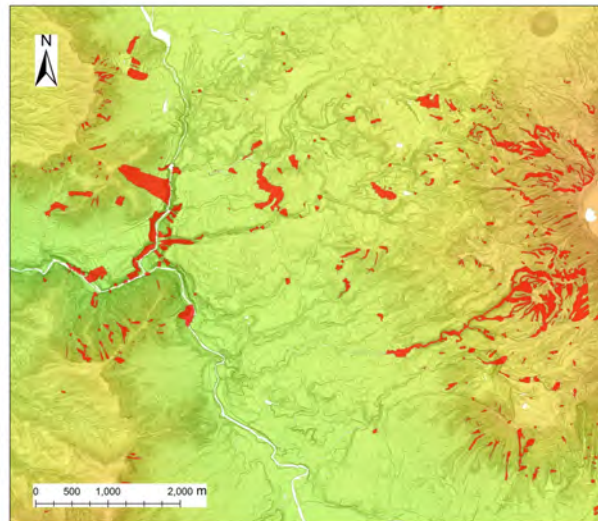


図 2．熊本地震によって発生した斜面崩壊の分布

国土地理院の 1mDEM から作成した傾斜・表構図にプロット。使用したデータ：Google Earth (4月15日, 4月16日, 4月19日画像取得)

・地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/index.html#11/32.938963/131.060715>)

/&base=std&ls=std&disp=1&lcd=.20160414kumamoto_0416dol4&vs=c1j0l0u0f0&d=v1)

(情報リスト > 平成 28 年熊本地震 > 正射画像 > 熊本 2 地区正射画像 (7/5 ~ 7/24 撮影), 阿蘇 3 地区正射画像 (7/5 撮影), 南阿蘇河陽地区正射画像 (5/31 撮影), 阿蘇 2 地区正射画像 (4/20 撮影), 南阿蘇 2 地区正射画像 (4/19 撮影), 西原地区正射画像 (4/16 撮影),

阿蘇地区正射画像 (4/16 撮影), 南阿蘇地区正射画像 (4/16 撮影))

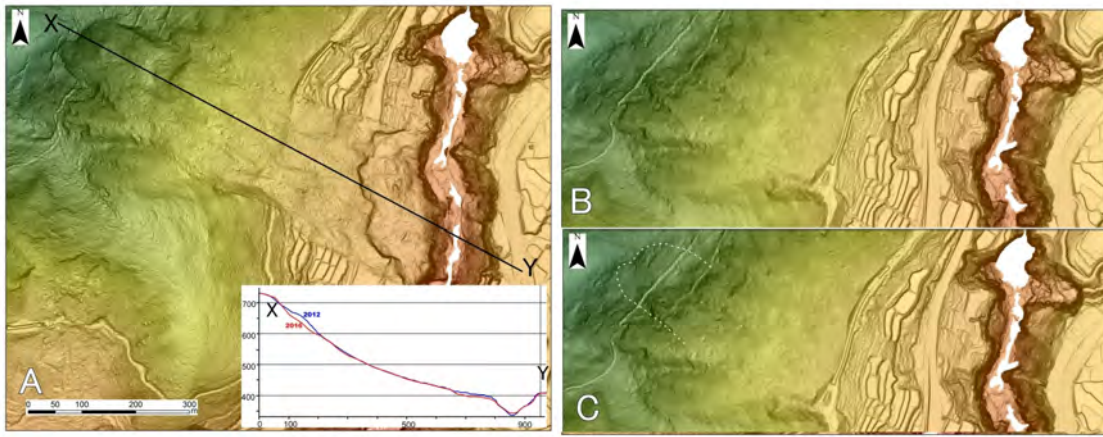


図3．阿蘇大橋西側の斜面崩壊

A:発生後の傾斜図。B:発生前の傾斜図。C:発生前の傾斜図に崩壊の輪郭を破線で図示。発生前に白線に沿うような小崖があったことがわかる。発生前の傾斜図は国土地理院の1mDEMから作成。発生後の傾斜図は、近畿地方整備局の1mDEMから作成。

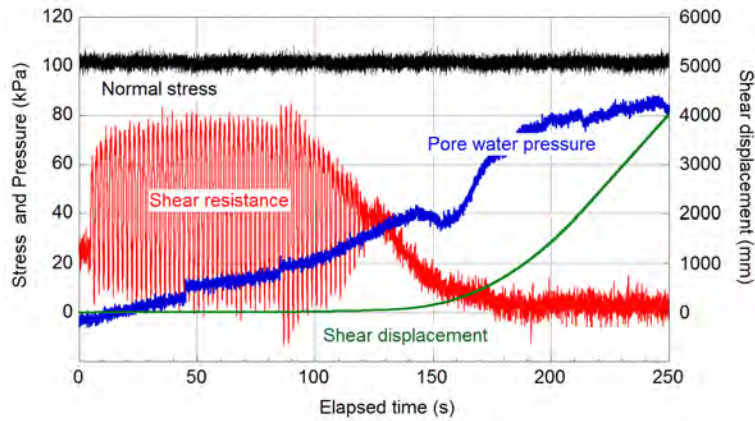


図4．自然含水状態における降下軽石に対する繰り返しせん断試験結果。

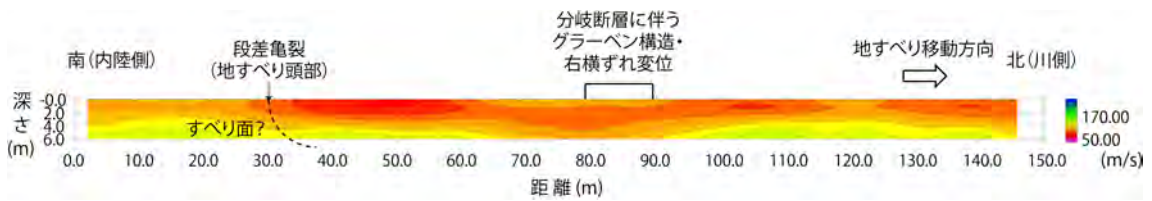


図5．南阿蘇村の住宅地で見られた地すべりの縦断面における表面波探査の結果。

地すべり内を本震分岐断層が横断し地表で右横ずれの変位とグラベン構造を呈している。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究 - 火山灰拡散即時予測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山噴火により多量の火山灰が噴煙として大気中を上昇し、浮遊拡散するとともに、火山周辺に多量に降下する。浮遊火山灰は航空機の運航に障害を与え、最悪の場合はジェットエンジンを停止させる。また、降下火山灰は、農林水産業被害、健康被害、地上交通網の停止と噴火活動静穏化後も繰り返される泥流等の土砂災害を引き起こす。本研究では、レーダー、ライダー観測や GNSS を用いて火山灰浮遊推定量をする技術を開発するとともに、シミュレーションを用いて大気中を浮遊拡散する火山灰粒子密度分布と降下する火山灰の堆積分布を予測する。レーダー観測で得られる大気中の噴煙イメージは、噴火して噴煙柱が成長した結果であるので、さらに即時性を高めるために、地盤変動量、噴火微動振幅を用いた火山灰噴出率をリアルタイムで把握する手法とそれに基づくシミュレーション技術を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」事業に基づいた計画であり、以下の 5 つのテーマに沿って研究を行う。

[1] 降下火山灰のリアルタイム観測および大気中火山灰粒子密度のその場観測による把握

[2] レーダーおよびライダー観測による噴煙高度等の外形情報の把握、噴煙柱形成、移流・拡散過程の把握および GNSS による搬送位相遅延量を用いた大気中火山灰粒子密度のリアルタイム推定手法開発

[3] 火山灰量の地上および大気中実測との照合によるリモートセンシング観測に基づく火山灰量の推定

[4] シミュレーションによる火山灰拡散範囲と粒子密度および降下火山灰堆積量の予測と観測データと予測値の照合による拡散シミュレーションの高度化

[5] 地盤変動、地震観測データに基づく、火山灰噴出率と噴煙高度のリアルタイム評価手法の開発と拡散シミュレーションのさらなる即時化

平成 26 年度はライダー観測により噴煙柱の形成、移流・拡散過程の把握する。また、GNSS による搬送位相遅延量を用いて大気中火山灰分布をリアルタイムで把握できる手法を開発する。降下火山灰のリアルタイム観測および大気中火山灰粒子密度のその場観測による火山灰粒径分布を明らかにする。

平成 27 年度はライダー観測も含めて、降下および浮遊火山灰量の実測値との照合によってリモートセンシング観測に基づく火山灰量の推定方法を確立する。

平成 28 年度はシミュレーションに基づいて火山灰拡散範囲と粒子密度および降下火山灰堆積量の予測し、観測データと予測値の照合によって拡散シミュレーションのパラメータのチューニングおよびシミュレーション論理の改良を行う。

平成 29 年度は地盤変動、地震観測データに基づいて、火山灰噴出率と噴煙高度のリアルタイム評価手法を開発し、拡散シミュレーションのさらなる即時化を図る。

平成 30 年度は上記の [1] ~ [5] の結果を検討して最良の即時予測システムを構築する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

2009 年以降、ブルカノ式噴火の発生頻度がきわめて高い桜島を対象に、噴火に伴う噴煙の早期検知と粒子密度の推定を目的とした地上観測を実施した。地上からの観測で用いた手法は GNSS , X バンド MP レーダー、ライダーであり、この順に波長が短くなる。

2015 年夏以降、桜島の噴火活動は低下しており、2016 年は 43 回の爆発しか発生しなかった。そのうち、2016 年 7 月 26 日の爆発は、噴煙高度 5000m に達した 2016 年では規模の大きい噴火であるが、GNSS と X バンド MP レーダーでは顕著な変化を検出することができなかった。これは、噴煙高度は高いものの火山灰濃度が低いためと考えられる。その理由は、噴火に伴う地盤の収縮量から火山灰量は 6000 トン程度と推定されること、地上降灰量観測からも同程度と見積もられることによる。噴煙高度が 5000m に達した 2013 年 8 月 18 日の爆発に伴う火山灰量は 15 万トンと見積もられており、2016 年 7 月 26 日の爆発に伴う火山灰量は、はるかに少ない。このことは、噴煙高度をパラメータとして噴出量を見積もることの限界を示している。光学観測であるライダーでは火山灰を検知しており、高い偏光解消度が得られた。

1. ライダー観測

ライダー (Light Detection and Ranging) 装置から発射されるレーザーを 2016 年 7 月 26 日の爆発に伴う噴煙に照射することにより、散乱強度と偏光解消度 (散乱粒子の扁平度を示すパラメータで、粒子が球形であれば、偏光解消度は 0 であるが、扁平になるにつれて偏光解消度は増加する) の時空間分布を調べた。散乱強度と偏光解消度の時間変化及び火口からの距離による低下を図 1 に示す。爆発直後の火口上空では極めて高い散乱強度と偏光解消度が得られた。散乱強度は、火口からの距離が離れるにつれ、また、時間が経過するにつれて減少する。散乱強度の現象は、散乱する粒子の濃度の低下を示すので、噴煙の拡散及び火山灰粒子の地上への落下による火山灰粒子濃度の低下がその原因と考えられる。一方、偏光解消度は、爆発直後の火口上空において 0.7 という極めて高い値が得られた。爆発発生から約 9 分間は 0.5 ~ 0.7 という高い値であったが、その後は、0.4 ~ 0.45 程度の値で安定した。2016 年 7 月 26 日の爆発以外についても調べたが、0.7 程度の偏光解消度が観測されるのは、爆発直後の火口上空 (距離 500m 程度) に限られることがわかった。火山から 100km 以上離れたライダーにより火山灰を捕捉した先行研究でも偏光解消度は 0.4 以下であり、今回得られた値は、ライダー観測による偏光解消度として世界最大の値が得られたといえる。

微弱な火山ガス放出時においても、ライダーによって散乱体の検出ができた。散乱強度は火口からの距離が離れるに従い減少し、粒子数の低下を意味する。一方、偏光解消度は火口上空では 0.1 以下で小さいが、火口から離れるに従い、0.4 程度まで増加する。火口上空の偏光解消度 0.1 程度の値は、火

山ガスが冷却され、球形の水滴が形成されているものと考えられる。偏光解消度の増加は相対的に球形粒子に対して非球形粒子が増加していることを示す。散乱強度が低下して粒子数が減少していることを考慮すると、球形粒子である水滴が乾燥により減少していると考えるのが妥当である。

爆発直後の火口直上において、0.7という高い偏光解消度が得られたことは、球形粒子が少ないことを示唆する。熱赤外映像観測によれば、爆発直後の噴煙の温度は表面においても600℃であり、爆発後数分間は200℃以上の高温を示す。高温状態では、球形粒子は存在できないので、噴煙中の粒子は非球形である火山灰粒子のみで構成される。この状態は短時間しか続かず、偏光解消度は0.5付近まで急激に低下する。粒径の大きい火山灰粒子の落下と温度低下による水滴の形成が、非球形粒子数の減少と球形粒子数の増加という相対的な非球形粒子濃度の減少を引き起こしたと考えられる。

2. GNSS 観測

2016年10月8日に阿蘇山で爆発が発生した。この爆発による噴煙柱形成はGNSS解析の位相残差とその信号強度であるSN比の変化として検出できた(図2)。GEONET703観測点では噴火発生直後から最大10cmのLC位相残差増大と3~4dBのSN比の低下が観測されたが、474観測点では明瞭な変化がなかった。703で変化を検出した衛星の高度と変化がなかった474観測点の火口方向の衛星の高度を考慮すると噴煙の高度は8.0km~12.5kmと推定される。より時間分解能を高めるために1秒サンプリングのデータの解析も行った。SN比の減少は噴火後約400秒で終息したが、位相残差の増加は600秒程度まで継続した。4-6cmの位相残差の増加に対して4dB-Hz程度のSN比の減少となった。SN比変化の位相残差の増加に対する割合は、1~1.5dB-Hz/1cmとなり、桜島南岳噴火時の位相残差の増加の割合(5dB-Hz/1cm)と比べると少ない。

3. XバンドMPレーダー

噴煙粒子の形状と落下速度の関係を明らかにすることを目的として、桜島で採取した噴煙粒子のサンプルを、防災科学技術研究所の大型降雨実験施設内で自由落下させ、地上に設置した2次元ビデオディスクロメータにより測定することで落下速度、形状、落下姿勢などの噴煙パラメータを求めた。得られた粒子の軸比と落下姿勢から、噴煙粒子の形状を球状、偏平楕円体の水平および鉛直、偏長楕円体の水平および鉛直の5種類に分類し、それぞれの粒子の落下速度を求めた。落下姿勢の観点からは、水平向きの粒子の終端速度は鉛直向きの粒子よりも遅いことが確かめられた。形状の観点からは、偏平楕円体の粒子の終端速度は偏長楕円体粒子の終端速度よりも遅いことがわかった。これらの情報は噴煙のふるい分け効果に伴うレーダー反射強度や反射因子差の水平分布などの時間変化の解釈や降灰のノウキャスト手法の開発に役に立つであろう。

- (9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Elisson, J., Weber, K., Vogel, A., Pålsson, T., Yoshitani, J., Miki, D., 2016, Investigation and separation of turbulent fluctuations in airborne measurements of volcanic ash with optical particle counters, *Jour. Disast. Res.*, 11, 72-84.
- Eliasson, J., Yoshitani, J., Miki, D., Weber, K., Böhler, C., Scharifi, E., 2016, Measurements of particle distribution and ash fluxes in the plume of Sakurajima volcano with optical particle counter, *Jour. Disast. Res.*, 11, 85-95.
- Iguchi, M., 2016, Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash ? case study on intermittent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan ?, *Jour. Disast. Res.*, 11, 4-14.
- Maki, M., Iguchi, M., Maesaka, T., Miwa, T., Tanada, T., Kozono, T., Momotani, T., Yamaji, A., Kakimoto, I., 2016, Preliminary results of weather radar observations of Sakurajima volcanic smoke, *Jour. Disast. Res.*, 11, 15-30.
- Oishi, S., Iida, M., Muranishi, M., Ogawa, M., Hapsari, R. I., Iguchi, M., 2016, Mechanism of volcanic tephra falling detected by X-band multi-parameter radar, *Jour. Disast. Res.*, 11, 43-52.
- Tanaka, H. L., Iguchi, M., Nakada, S., 2016, Numerical simulations of volcanic ash plume dispersal from Kelud volcano in Indonesia on February 13, 2014, *Jour. Disast. Res.*, 11, 31-42.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

X バンド MP レーダー観測 , ライダー観測 , GNSS 観測を継続し , 地上降灰量や大気中その場観測と照合することにより , 反射強度 , 散乱強度等のリモートセンシングパラメータを定量化する .

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井口正人、吉谷純一、中道治久、味喜大介
他機関との共同研究の有無 : 有
鹿児島大学地域防災教育研究センター 眞木雅之
防災科学技術研究所 藤田英輔
東北大学理学研究科 太田雄策、小園誠史
気象研究所 高木朗充
気象協会 桃谷辰也

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所火山活動研究センター
電話 : 099-293-2058
e-mail :
URL : <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 井口正人
所属 : 京都大学防災研究所

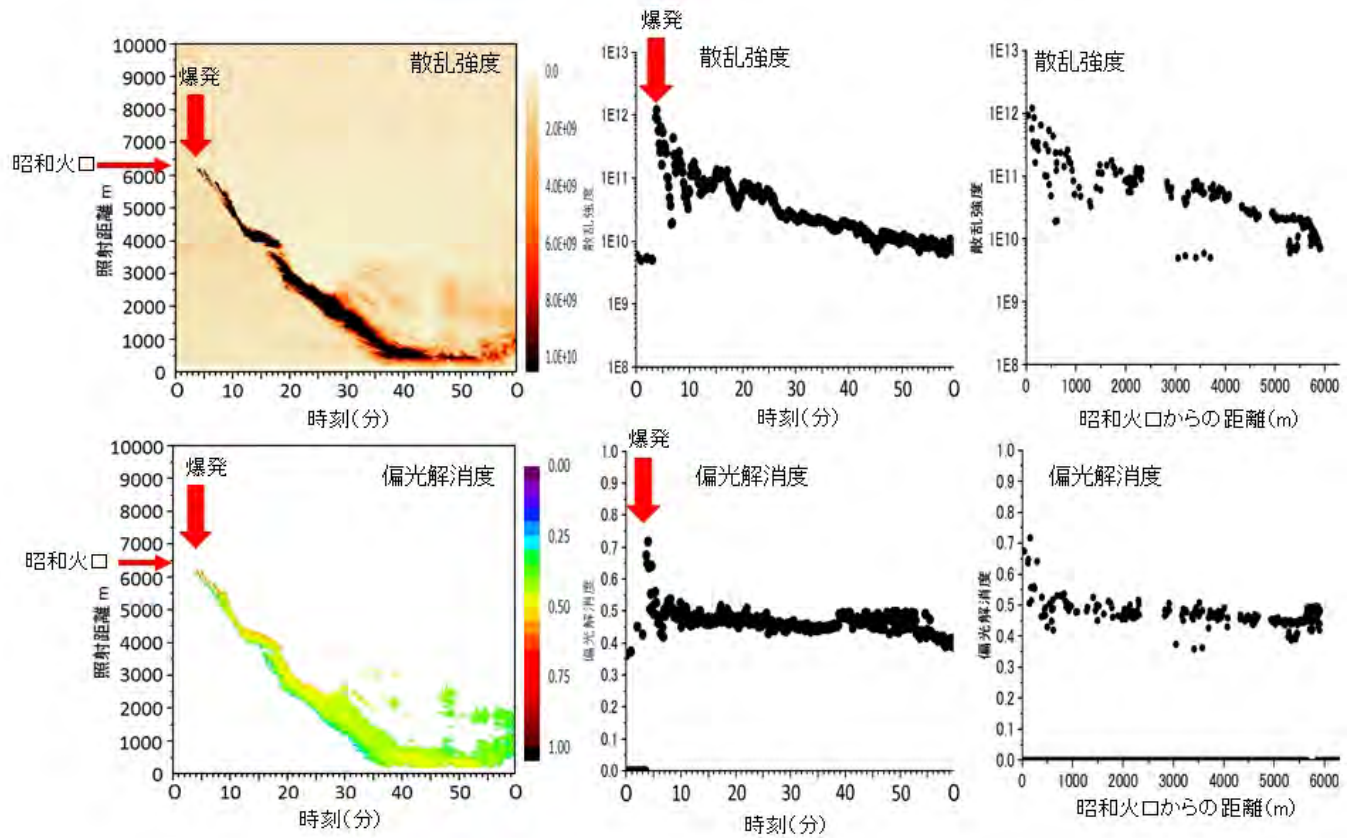


図 1 . 爆発発生時のライダー観測による散乱強度及び偏光解消度の時間変化及び空間分布

上図：散乱強度
下図：偏光解消度

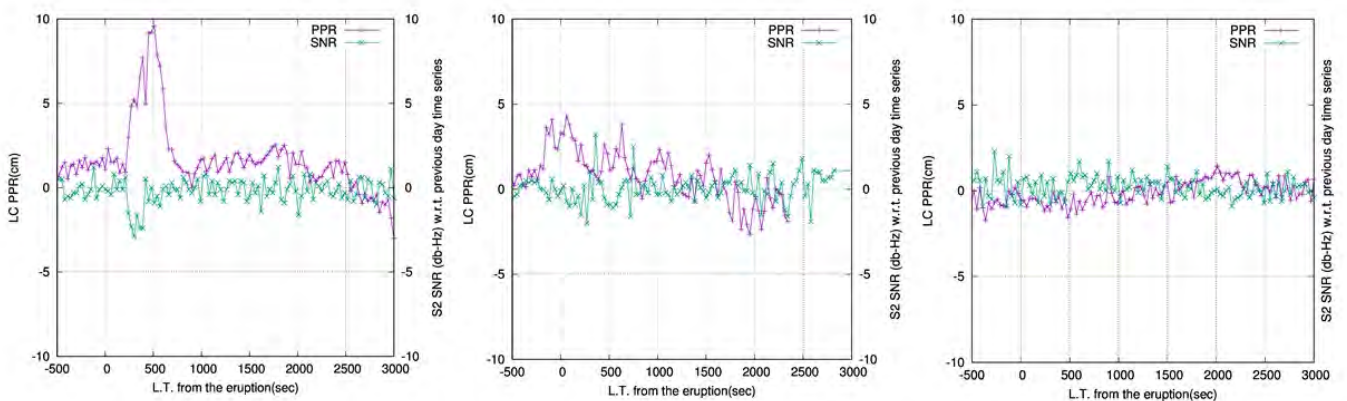


図 2 . 阿蘇山の 2016 年 10 月 8 日の爆発に伴う噴煙放出による GNSS の位相残差及び SN 比の時間変化

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究 - 地域との連携

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、桜島火山をモデルケースとして、地方自治体の防災担当者、一般住民、報道機関など様々な層を対象に、これまでの火山噴火予知研究の成果を知ってもらうためのセミナーを定期的開催する。そのうえで、これまでの予知研究の成果を、自治体の地域防災計画や住民の防災意識へ反映することの可能性を検討するとともに、よりよい地域防災計画策定や危機的状況における住民行動の改善のためにはどのような研究成果や火山活動に関する情報が必要であるか、予知研究の要求調査を行う。さらに、火山現象理解のための研究や噴火規模の即時評価の研究の成果を年次ごとに公表し、防災対策の視点から研究の仕分けを行う、また、必要とされる研究項目を推進するため、フィードバックをかける。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」事業に基づいた計画である。年 2 回のセミナーと検討会を実施し、火山噴火予知研究の成果を地域における防災対策等に反映することを検討する。検討項目は以下の通りである。

[1] 避難計画における火山噴火予知研究成果の活用

[2] 様々な噴火シナリオに基づく避難計画の多様化の研究

[3] 現状の避難計画の問題点と予知研究による解決の可否の検討

[4] 火山噴火による経済への影響評価と BCP や個人の生活支援策への予知研究成果（噴火活動推移）の活用

平成 26 年度はこれまでの火山噴火予知研究成果をレビューするセミナーを開催するとともに、その成果の現状の避難計画を含めた防災対策にどのように活用できるかを検討する。

平成 27 年度は噴火事象系統図にリストアップされる個々の噴火の規模と様式について、前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討する。

平成 28 年度は火山噴火予知研究から想定される今後の噴火活動に対する現状の防災対策の問題点と予知研究によってその問題が解決可能であるかどうかを検討する。さらに、どのような予知情報が必要であるかを明らかにしていき、予知研究の課題としての解決策を探る。

平成 29 年度は噴火活動の推移予測と事業継続、生活継続の問題について検討する。

平成 30 年度は以上の検討を踏まえ、火山噴火予知研究からみた地域防災計画や支援策などへの提言を取りまとめる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

桜島では 1914 年に大規模噴火（大正噴火）が発生し、桜島火口から数十 km の範囲において 30cm 以上の厚さで火山灰と軽石が堆積した。しかし、日本では大正噴火以来、市街地に大きな被害を及ぼすような大規模な火山災害は発生しておらず、特に「大量降灰」の災害に関しては対策が未整備である。大量の降灰はインフラやライフラインの寸断など都市機能をマヒさせる可能性があるだけでなく、避難の途中において大量の降灰があれば、避難を続けられなくなる可能性がある。そこで、噴火前に避難を終える事前広域避難について検討した。また、大規模噴火避難に関して住民の意向をアンケート調査したうえで、避難シミュレーションを行い、有効な避難施策を検討した。

まず、桜島周辺の大量降灰が予想される地域内の住民が全員車で最適避難した場合、避難終了までに最低でもどの程度の時間が必要かを見積もった。ここでは、交通規制により渋滞のない最適な避難経路をとる場合の避難時間を計算した。鹿児島市街地の降灰予測厚 30cm 以上の地域を対象とし、鹿児島市を最上流として、約 80 万人（40 万台）が北向きに避難するとした。避難の方法として最適避難戦略（Daganzo, So, 2011）を用いた。災害の中心地に近い高リスクの避難者を優先的に避難させる InFO 戦略とし、下流ボトルネックを考慮した流入点における交通量制限による渋滞を排除した。また、道路ネットワーク表現は、巨視的交通流モデル、流体モデルの離散形とし、各矩形内の交通量を時間ごとに計算することで交通流を表現した。この場合 80 万人の避難に約 50 時間かかることがわかった。したがって、この方法で全員を安全に避難させるためには 50 時間以上前に避難勧告などの情報を発表する必要がある。

次の段階として、実際住民がどのような避難意向を持っているのかを調べるために、アンケート調査を行った。アンケートの結果を図 1 に示す。県内の降灰の少ない場所や他県に移動する長距離避難の意向をもつ住民は約 20% であり、避難勧告がトリガーとなることがわかった。そこで、風向き・降灰予想地域、避難対象地域と避難対象者（図 2）、住民の長距離避難意向の割合を考慮して、広域避難シミュレーションをやりなおした。長距離避難の意向を持つ 20% の住民が避難する場合は約 5 時間を要する結果となり、少なくとも 5 時間前に避難勧告を出す必要があるといえる。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 29 年度は噴火活動の推移予測と事業継続、生活継続の問題について検討する。特に、交通網の被害と復旧の問題を取り扱う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井口正人, 中道治久, 多々納裕一

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学大学院理学研究科 (大島弘光, 中川光弘)

秋田大学工学資源学部 (筒井智樹)

東北大学理学研究科 (西村太志)

東京大学地震研究所 (大久保修平)

東京大学大学院理学系研究科 (森俊哉)

東京工業大学火山流体研究センター (野上健治)

常葉大学環境防災学部 (嶋野岳人)

京都大学大学院理学研究科 (鍵山恒臣)

九州大学大学院理学研究院 (清水洋)

鹿児島大学理学部 (宮町宏樹, 中尾茂, 八木原寛)

鹿児島大学地域防災教育研究センター (眞木雅之)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所火山活動研究センター

電話 : 099-293-2058

e-mail :

URL : <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 井口正人

所属 : 京都大学防災研究所

● 噴火前に以下の各情報を知った場合の避難行動

各情報

- ① 桜島の噴火警戒レベルが“4”に引き上げられる
- ② 桜島の噴火警戒レベルが“5”に引き上げられる
- ③ 自宅の地域に「避難準備情報」が発令される
- ④ 自宅の地域に「避難勧告」が発令される
- ⑤ 自宅の地域に「避難指示」が発令される
- ⑥ 火山の専門家が避難を勧める
- ⑦ 知人が避難を勧める
- ⑧ 近隣住民が避難を開始する
- ⑨ (大きな地震などの) 異変を感じる

避難行動

- 避難しない
- 近隣の頑丈な建物に避難する
- 近くの避難所に避難する
- 県内の降灰の少ない場所に避難する
- 他県など遠方に避難する
- わからない

近距離避難

遠距離避難

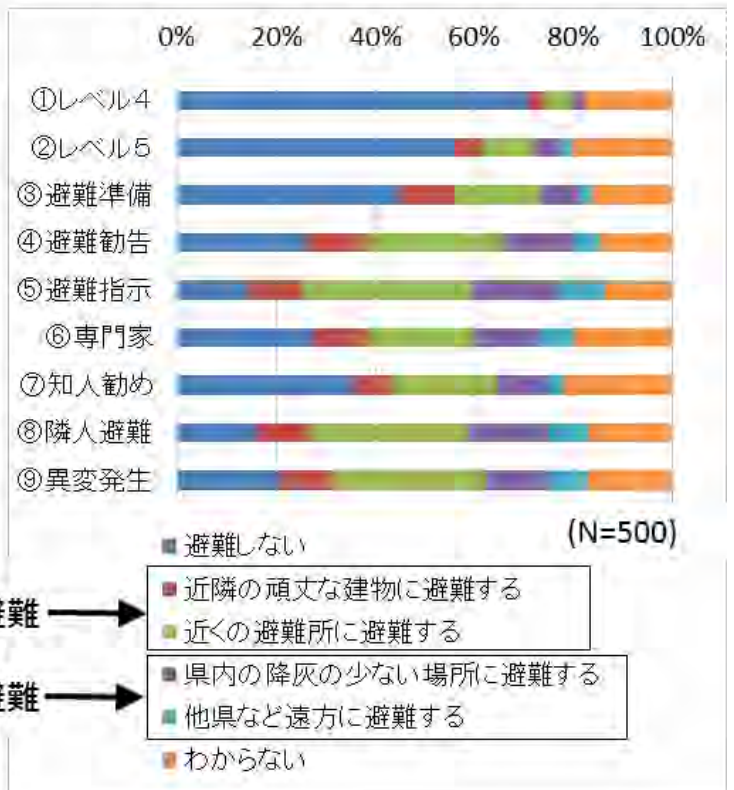


図1. 避難に関する住民意向アンケートの結果

	避難者数	避難台数
鹿児島市	595000	297500
日置市	50000	25000

※鹿児島市は喜入地域を除く

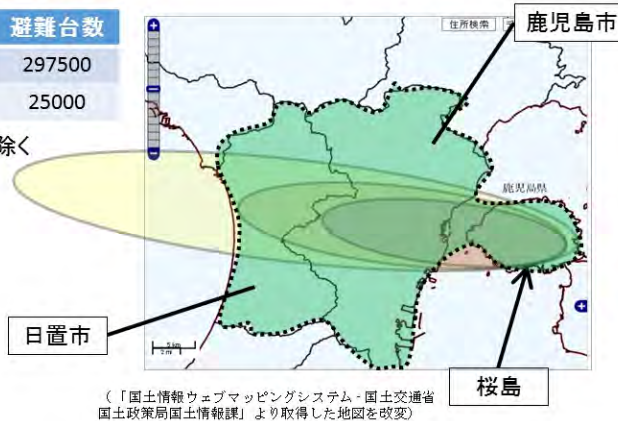


図2. 避難対象地域の設定

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

歴史記録の電子化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

東南海・南海道震前の地震活動や応力状態を知るために、過去の地震データは最も重要な情報の一つである。劣化しつつある歴史地震記録を電子化し、データベースを構築することが本研究の主な目的である。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

京都大学では、阿武山・別府・阿蘇・上賀茂等で記録された一世紀以上におよぶ地震の観測データおよび約半世紀にわたる地殻変動連続観測データを保有している。これらのうち、阿武山観測所のウィヘルト地震計および大震計の大部分と上賀茂観測所の大森式地震計の一部は電子化されているが、それ以外のデータは依然として紙媒体のままであるため、管理および活用に困難を極めているし、データは年々劣化している。これらの貴重な観測記録を電子化し、データベース化をはかり、全世界の地震・火山研究者の利用に供する。加えて、阿武山観測所においては、これらのデータを記録した歴史的な地震計を動態保存し、電子化した記録とともに、サイエンスミュージアムとしてのアウトリーチ活動に活用する。

平成 26～27 年度においては、阿蘇のウィヘルト地震計のデータを電子化する。平成 28 30 年度においては、上賀茂観測所の大森式地震計の未処理分および、別府のウィヘルト地震計のデータを電子化する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

阿武山観測所に保管されている上賀茂観測所の煤書き記録は、記録されてから 100 年近くを経過しており、劣化が激しいため、煤書き記録をスキャンして電子媒体に保存することが必要不可欠である。平成 28 年度は、1925 年～1935 年に記録された記録の中から 460 枚をスキャンして、ハードディスクに格納した。また、上賀茂観測所において記録された煤書き記録の多くは、当観測所に保管されていたが、阿武山観測所に保管されているもの以上に劣化が激しく、平成 27 年度に、運搬可能なものは阿武山観測所に移動させていた。今年度は、これらの記録の整理を行った。加えて、阿武山観測所に保管されている、全ての歴史記録や資料等のデータベースの構築を行った。

阿武山観測所のサイエンスミュージアム化計画においては、月 3 回の一般見学会と随時受付の団体見学会に加えて、「阿武山満点 tera 小屋」というサイエンスカフェ的な一般向けの参加型の講演会を 2 ヶ月に 1 回ずつ実施した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度においては、主に阿武山観測所に保存されている歴史地震記録を電子化するとともに、阿武山観測所のサイエンスミュージアム化計画を進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

京都大学防災研究所・理学研究科
他機関との共同研究の有無 : 有
地震予知総合研究振興会、松浦律子

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所
電話 : 0774-38-3348
e-mail :
URL :

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 飯尾能久
所属 : 京都大学防災研究所地震予知研究センター

(1) 実施機関名：

鳥取大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

自治体震度計を用いた地震速報の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

自治体震度計の波形データは、近年の更新によりリアルタイムにデータを取得できるようになっている。鳥取県を例とすると、現状では事後の震度情報が地震動分布の把握に活用されているのみだが、リアルタイム観測かつ高密度な観測網の利点を活かし、より速く精度良く地震発生を検知し、観測記録を用いて現地地震動を推定する精度を向上する手法を開発する。

気象庁が緊急地震速報に用いている地震計よりも高密度に展開されている利点を活かし、緊急地震速報が間に合わない領域の狭小化、速報の高精度化を図るためのパイロット・システムを開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、検討対象地域である鳥取県域の全計測震度観測点を調査し、主に常時微動を用いて震動特性を把握する。県の防災業務に支障を及ぼさず、情報ハイウェイを介して計測震度計から地震発生に関するデータを取得する手法を開発する。

平成 27 年度においては、県内に比較的高密度に展開された観測網を用いて、震源を推定せずに地震発生と各地域の揺れの規模を推定する新たな方法論に基づくシステムを構築する。

平成 28 年度においては、実際の観測記録を用いて揺れの予測を補正して予測パラメータを自動更新し、精度を上げる仕組みを新たに開発する。得られた結果を関係機関に伝達、表示する仕組みについて、気象業務法に配慮しつつ検討する。

平成 29 年度においては、試作したパイロット・システムの運用を通じて課題を抽出し、それらを解決することを通じて信頼性の向上を図る。他地域の自治体における実施可能性を調査し、ネットワークの広域化を検討する。

平成 30 年度においては、パイロット・システムの運用を通じてシステムの信頼性を向上させ、成果と課題をとりまとめる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

今年度の実施内容と成果は以下の 3 項目である。

(1) 昨年度末に対応が完了した、鳥取県管理の計測震度計にリアルタイム震度と最大加速度値の 1 秒パケット送信機能の付与を受け、鳥取県情報ハイウェイを介してその情報を安定的に受信、表示する鳥取大学側のシステム開発をおこない、常時接続状態での安定稼働を確認できうるまでに至った。表示システムの作成が 10 月 21 日に発生した鳥取県中部の地震以降になったことは残念であるが、上記パケットを受信し、表示するシステムも現時点では安定して動作している。計測震度観測点以外への面的な補間、伝播予測とデータ同化を活用した即時震度予測に向けて、開発を急ぎたい。

(2) 平成 28 年 10 月 21 に、鳥取県中部でマグニチュード 6.6 の地震が発生した。平成 27 年 10 月以降の群発地震活動後に設けていた臨時観測点でも本震を観測した。さらに、地震発生直後から、被害が発生した倉吉市街および郊外、北栄町、湯梨浜町、および三朝町で連続余震観測(12 月上旬まで)、および家屋倒壊の生じた北栄庁西園地区を中心に高密度の微動探査を実施した。これらと鳥取県震度計などの強震観測記録とを組み合わせ解析をおこなったところ、観測点の地盤応答特性が本震および余震観測記録に大きく影響していることが分かった。現在、面的な地震動分布評価のために主に常時微動を用いた卓越周期分布と浅部地下構造モデルを蓄積しているが、それらを用いたモデリングが非常に有用であることが、このことより示唆される。

(3) 震度計観測点における震度情報から周辺の非観測点での震度を予測することを想定し、常時微動を用いた地盤震動特性の稠密把握および地下構造モデルの構築を実施した。平成 28 年度は、既往観測点分布が粗な地域のうち、境港市、湯梨浜町羽合・東郷地区および鳥取市鹿野町・青谷町を対象とし、既往データを補間した卓越周期分布および浅層地下構造モデルを得ることができた。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

野口竜也・西川隼人・吉田昌平・香川敬生, 2016, 鳥取県内の地震観測点における地盤構造の把握とサイト特性の評価, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4(地震工学論文集第 35 巻), I.646-I.658.

Noguchi, T., T. Kagawa, S. Yoshida, and H. Ueno, 2017, Estimation of Subsurface Structure based on Microtremor and Gravity Survey in the Shikano Area, Tottori Prefecture, Japan, 16th World Conference on Earthquake Engineering.

香川敬生・野口竜也, 2016, 自治体震度計によるリアルタイム情報配信の試み - 鳥取県の事例 -, 日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会, SSS29-P05.

野口竜也・西川隼人・香川敬生・吉田昌平, 2016, レシーバー関数を用いた鳥取県内の地震観測点における地盤構造推定, 日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会, SSS25-P25.

野口竜也・池上柊真・上野太士・中井翔・有村翔也・吉見和・香川敬生・吉田昌平, 2016, 鳥取県中部地域における地下構造探査および地震記録の分析, 日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会, SSS25-P26.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

自治体震度計からの毎秒パケットを受信、表示する基本システムが完成したので、当初計画の即時予測システムへと拡張する。鳥取県中部の地震で得られた記録を用いて、システムの検証と運用のチェックをおこなう。同時に、鳥取県でもシステムを試用して貰い、改善点など意見のフィードバックを試みる。

また、鳥取県中部の地震で被害を生じた地域をモデル地区として、より詳細な地震動分布を把握するため、常時微動観測を主とした調査を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 教授 香川敬生
鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 助教 野口竜也
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 鳥取大学大学院工学研究科

電話 : 0857-31-5183

e-mail : en-syomu@adm.tottori-u.ac.jp (庶務係)

URL : <http://www.tottori-u.ac.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 香川敬生

所属 : 鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

(1) 実施機関名：

高知大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

四国前弧域から中央構造線北方にかけての観測高度化による地震発生場の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

燧灘の伊吹島、魚島における地震観測を高度化し、地震観測データの充実を図ることで、四国前弧域から中央構造線北方の領域における地震発生場の状態解明を目指す。対象地域における地震波走時データ、発震機構解データを蓄積することで、地震発生場の状態を解明するための資料となる地殻応力状態の分布や地殻構造モデルを構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

燧灘の伊吹島、魚島における地震観測は発震機構解析に対して、地理的に非常に重要である。そのため両島の観測点に対して平成 27 年度は、携帯電話回線等を利用したテレメータ機能を付加することにより両観測点データの利便性を向上させる。テレメータについてはリアルタイム・全波形転送のテレメータが望ましいが、回線品質、通信速度を勘案し、最低限観測状況のモニタが可能なシステムの構築を行う。地方自治体や小中学校等、地域コミュニティーへの情報提供もシステム構築の際には考慮する。あわせて、京都大学が実施する四国を縦断する臨時地震観測と連携を図るため、双方の観測点状況について情報の交換を実施する。

平成 28 年度は、燧灘での地震観測を維持・継続し、観測データを蓄積し、四国前弧域から中央構造線北方を対象とした地震の発震機構解の推定を行う。プレート形状に関する課題(京都大学)と研究連携も実施する。

平成 29 年度は引き続き、観測および対象地域における地震の発震機構解の推定を継続し、対象地域における地震波の走時解析により、 V_p/V_s 分布の推定を行う。地震波速度構造推定に関する課題(京都大学)と研究連携も実施する。

平成 30 年度は地震観測を維持・継続しつつ、さらに観測データを蓄積する。対象地域における地震の発震機構解の推定を継続し、応力解析、 V_p/V_s 分布の推定、トモグラフィ解析を行う。京都大学実施する課題（レシーバ関数解析、トモグラフィ解析）との対照・比較を行い、対象地域における応力 - 間隙流体相互作用について考察し、地震発生場の状態を解明する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

OpenBlocksIoT EX1 (ぶらっとホーム社製) を用いて、WIN システムを搭載した波形伝送システムを構築し、システムの実働試験を実施している。

熊本地震の GNSS 観測、海外での定点観測にシステムを利用し、実証実験を行った。

観測点のインテリジェンス化に向け地権者・団体と交渉を継続している。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
特になし

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

気象庁一元化カタログを利用し、解析対象地震の絞り込みを行い、

観測によって得られた地震動波形を用いて発震機構解析を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

大久保慎人、田部井隆雄、山品匡史 (高知大学)

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学防災研究所 : 澁谷拓郎

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 高知大学理学部附属 高知地震観測所

電話 :

e-mail :

URL : <http://www.kochi-u.ac.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 大久保 慎人

所属 : 高知大学理学部附属 高知地震観測所

(1) 実施機関名：

九州大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震・火山相互作用下の内陸地震・火山噴火発生場解明およびモデル化の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題においては、大きく二つのカテゴリで研究を進める。ただし、相互はデータから解析まで密接な連携を持って進める。

A) 地震発生場と火山の作用

i) 応力・ひずみ速度場のモデル化

・ 応力・ひずみ急変域での 15km 程度の分解能の空間的特性把握(九州地域)

・ 背景構造(速度、減衰、D90 等)の推定(九州地域)

・ 対象領域外からの場の擾乱の検出

・ カルデラを含む活動的火山地帯である北海道東部において GNSS 観測・地殻弾性層厚調査等による地殻不均質場とひずみ集中のモデル化を実施する。

・ 5 年間で九州地域において 15km 程度の分解能を持つ、弾性体としての地殻応答モデル構築と、下部地殻の作用検出を進める。それとともに北海道東部でのモデルとの比較から、伸張場・圧縮場における火山の力学的作用についてモデル化を行う。

ii) 地震活動・間隙流体

・ 九州中部地域において 10km 分解能での比抵抗構造を推定

・ 発震機構解の高精度推定による応力場、間隙水圧の推定

3) 1)、2) で得られる成果と合わせた地震発生様式のモデル化(有限要素法等の数値シミュレーションによる観測データのモデル化)

B) 噴火発生場

前項で得られる背景構造より詳細な、阿蘇、九重、始良、洞爺、屈斜路地域での構造推定。

- ・地殻深部から火山体浅部におけるマグマ供給系モデル化
- ・深部供給系の時間変化抽出可能性の検討(阿蘇)
- ・流体の熱力学的状態と、振動を特徴づける振幅・周波数の関数としての無次元数を用いて、系の不安定性を評価できる「トリガリング・ダイアグラム」の作成

(7) 本課題の5か年計画の概要:

A) 地震発生場と火山の作用

ひずみ集中領域の形状を把握することが、力学的モデル化をするうえで必須である。このため、別府島原地溝帯においてGNSSのオンライン観測を行う。これによって、定常変形(5年のタイムスパンでの)を明らかにできる。また、現在9年周期で起こっている豊後水道スロースリップを適切な配置で観測し、数か月程度の時定数での変動に対する応答特性を検出する。

地殻不均質構造とひずみの集中が見られる北海道東部でGNSS観測を実施し詳細なひずみ場を求めるとともに、地殻熱データ等から弾性層厚を推定し、ひずみが集中するメカニズムのモデル化を試みる。

応力場については、応力・ひずみ急変域での15km程度の分解能の空間的特性把握(九州地域)を行うために、別府島原地溝帯に現在の定常観測網を補完する臨時地震観測点を設置する。さらに、発震機構解を精度良く求めることが重要となるため、規模の大きな地震に対しては機動観測を実施する。これらの観測によって、現在20km程度の分解能の応力場・地震発生層厚分布は別府島原地溝帯で15km程度が実現できる。

比抵抗構造については、鹿児島県、福岡県を除いた九州中心部で広帯域MT観測を行い、空間解像度10kmの比抵抗構造を30kmの深度まで求める。阿蘇-九重周辺域においては、阿蘇周辺の既存のデータを利用しつつ、さらに高密度なMT探査を行い、空間解像度を3kmの比抵抗構造を得る。構造解析においては電場と磁場の測定場所が離れていることを考慮した3次元インバージョンを行う。

以上のひずみ速度場、応力場、地震発生層厚、背景構造を用いて広域のモデル化を進める。これらは次のステップを進める。

1. 地震発生層厚・背景構造を取り入れた弾性体モデルによるひずみ速度場・応力場の再現
2. プレート境界のカップリングを取り入れたモデル化
3. 火山下の異常構造を取り入れた地殻応答のモデル化

基本的には中国・四国・九州全体でのGNSS解析をもとに初期モデルを作り、期待される応力場と比較する。1では定常変形や東北地方太平洋沖地震時の応答再解析データを中心とする。2ではプレート間カップリングが一様でなく、九州へのローディングが一様でないことから、これらを導入して外的な境界条件に拘束をあたえる。3では、豊後水道スロースリップ(過去のデータも併せて)を用いてモデル化する。北海道地域では屈斜路カルデラを中心としたモデル化を行うが、領域は広くないために、1+3を進める。両地域で得られたモデルを比較することで、地震発生場に対する火山の作用の一般的なモデル化につなげる。

B) 噴火発生場:

噴火発生場は有珠火山(洞爺カルデラ)、阿蘇火山(阿蘇カルデラ)、桜島火山(始良カルデラ)を対象とする。レシーバー関数解析あるいは走時トモグラフィにより上部マントルまでの地震波速度構造を明らかにする。求められた地震波速度構造と比抵抗構造から上部地殻および下部地殻における流体の存在範囲およびその存在様式を明らかにする。

噴火発生場については、GNSS観測や水準測量などの地殻変動観測により、マグマ蓄積の位置とマグマ蓄積率の時間変化を把握するとともに、大規模噴火のポテンシャル評価を行なう。さらに、すべてのカルデラの研究結果を比較検討することにより、カルデラにおけるマグマ供給系の理解を深める。

一方、地震による噴火への作用も重要な要因のひとつである。強制力が働いたときの流体の挙動は、その温度圧力条件によって大きく左右されるだけでなく、その振動の振幅と周波数によっても影響さ

れる。そのために、アナログ物質を用いた実験による気泡挙動の基本的理解を行う。すなわち1)気泡の離脱条件に対する振動の振幅と周波数の影響の定量的理解。2)発泡を伴うクラック上昇に対する振動の影響の解明。マグマの地表付近の移動と遠地地震の関係についてモデル実験を通して明らかにする。

年次計画としては以下のとおりである

- 平成 26 年度 九州：GNSS 観測点設置
臨時地震観測点設置
広帯域 MT 観測（熊本 大分、九重）
GNSS 観測（阿蘇）・地震観測（阿蘇、加久藤（霧島））
RF 解析@阿蘇、加久藤、始良、北海道：GNSS 等の観測・調査や地殻熱関係データ等
収集を開始
RF のためのデータ収集（屈斜路）
室内実験：アナログ実験装置作成
- 平成 27 年度 GNSS 観測・広域地震観測およびデータ解析（九州）
広帯域 MT 観測（大分 - 熊本 - 宮崎）
GNSS 等の観測・調査や地殻熱関係データ収集を継続（北海道）
RF 解析@阿蘇、屈斜路
RF のためのデータ収集 洞爺（有珠）
各種既存構造資料の収集・整理
室内実験
- 平成 28 年度 広域地震観測およびデータ解析（九州）
GNSS 観測（阿蘇）地震観測（阿蘇、霧島）
広帯域 MT 観測（宮崎 鹿児島）
GNSS 等の観測・調査を継続するほか地殻弾性厚推定等を実施（北海道）
RF 解析@洞爺（有珠）
減衰構造推定
地下構造・力学構造モデル化
室内実験
- 平成 29 年度 広域地震観測およびデータ解析（九州）
GNSS 観測（阿蘇）地震観測（阿蘇、霧島）
RF 解析@阿蘇、始良、加久藤
GNSS・地震等観測・調査およびデータ解析
地下構造・力学構造モデル化
ひずみ・応力・地殻変動場のモデル化
噴火に伴う地震に関するひずみ・応力場の検討
広帯域 MT 観測（長崎 佐賀 福岡、阿蘇）
室内実験：地下流体の熱力学状態についての観測結果の吟味
- 平成 30 年度 GNSS・地震等観測・調査およびデータ解析
広帯域 MT 補完観測およびモデリング
阿蘇水準測量
ひずみ・応力・地殻変動場のモデル化
トリガリング・ダイアグラムの作成

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

熊本地震

2016年4月14日から始り、16日にはM 7.3の最大地震が発生し多くの被害をもたらした、熊本地震の一連の活動について、緊急的な地震観測・解析を当課題担当の北大・理、京大・理、鹿児島大・理工、九大・理のほか、弘前大・理工、東北大・理、東大・地震研、名大・環境、京大・防災研、高知大・理、防災科研、産総研と共同して進めている。

背景場：日奈久断層、布田川断層系周辺ではほぼ南北の最小主圧縮力が卓越し、最大・中間主圧縮が近接した応力場であることが従来明らかにされている。これに加え、今回の活動は地震発生層の非弾性変形域や低比抵抗域に近接した領域で発生したことが明らかになった(図1)。(Matsumoto et al., 2016b, Aizawa et al., 2017)

断層形状：稠密地震観測の結果、余震分布や発震機構解から地震断層の複雑な形状が明らかになった。その特徴は以下のとおりである。1)4月14日M 6.5の地震は東に高角に傾斜する面と西に傾斜する面で構成されている。2)4月16日M 7.3の破壊開始点近傍にほぼ鉛直な断層面も見える。3)日奈久断層南部に行くにしたがって、傾斜が緩くなる。4)M 7.3は布田川断層と考えられる北北西に約60度で傾斜した面上で発生した。(清水・他、山下・他、2016)また、1999-2000年に日奈久断層で発生したM 5を伴った活動は鉛直な断層面での活動であったことに対して、熊本地震の活動はやや西側で活動しているように見える。これらの複雑な形状は地表活断層との関係が必ずしも明確ではなく、今後の活断層評価にとって重要な知見であると考えられる(図2)。

応力場：M6.5以前のデータを用いて、応力テンソルインバージョンをおこなった。その結果、応力場は地震発生前に不均質な状態であったことが明らかになった。また、地震時すべりインバージョンによる結果と、地震前応力場から期待される断層面上のすべり方向は一致する部分が多いことが明らかになった。これは地震前応力場が地震時のすべりを規定していることを示し、今後の地震動評価に資する結果である。

地殻変動：日奈久断層を横断するGNSS繰り返し観測により、地震前後の変位ベクトルがえられた。これによると変位は日奈久断層の地表トレースより西側でパターンが変化しており、すべりがやや西側傾斜の断層面もしくは平行した断層で発生していることが明らかになった(松島・他、図3)また、2016年熊本地震後8大学共同10部局合同で21点のGNSS連続観測を実施し、余効変動観測を実施している。これらを解析した結果、布田川断層帯周辺の観測点の余効変動が単純な2枚の断層面でのアフタースリップのみでは説明できていない観測点が多い。一方、日奈久断層帯周辺の観測点では余効変動がアフタースリップを仮定することによりよく説明できることが示された(図4)。

速度構造：合同地震観測によって得られたデータから、地震波速度DDトモグラフィ法により構造を求めた。熊本地震の余震活動や大きなすべりは速度の高い部分で発生していることが明らかになった。また、阿蘇火山では低速度域が明らかになり地震時すべりとの関係が示唆される。阿蘇カルデラ周辺観測点で得られた遠地地震波形のRF解析により、カルデラの地殻~上部マンツルのS波速度構造を決定した。その結果、中央火口丘の下、8~15kmの深さにS波低速度領域(S波速度は最小で2.2km/s)が存在することが明らかになった。これはほぼDDトモグラフィ法による速度構造と同様の位置にある。さらに、このRF解析によると、阿蘇カルデラ西部の15~23kmの深さには別の低速度層がある。この領域では、余震の発生深度が東側に比べて浅くなっている。この低速度層の存在と布田川断層帯の東縁の構造の関係を明らかにしていくことが今後重要である。

地震発生場・噴火発生場

地震発生ポテンシャルの評価：今年度は発震機構解を用いた新しい応力場推定法を開発した。これにより分解能を向上させることができた(Matsumoto et al., 2016a)また、比抵抗構造と重力異常図、地表活断層などを総合的に検討することにより地震発生ポテンシャル評価に関連する、異常構造検出を試みた。その結果、別府南部に大きなニアメントを持つ重力構造異常と比抵抗構造の対応が見られた(図5)。

九州の広域地殻変動：現在の地殻変動状態の長期間にわたる詳細な把握は、応答特性を知る上で重要である。そこで、今年度もGNSSによる観測を継続した。日本から離れたIGS観測点を基準にして2004年から2015年までのGEONET観測点と本プロジェクトによる観測を行っているGNSS観測点の座標

変化を求めた。さらに、観測点ごとに年周、半年周の振幅と位相、2011年東北地方太平洋地震の地震時と変位速度を決定した。各観測点の変位速度を使って、佐藤・他(2002)の方法で歪速度を推定した。歪速度の東西成分では阿蘇山周辺が大きく縮んでいる。歪速度の南北成分では北緯32度線付近の宮崎県および水俣周辺が伸びていることがわかった。また、布田川断層帯と日奈久断層帯を横断する長方形の中の観測点の変位速度について断層帯と平行および直交する成分に分ける、断層に平行な成分は断層をはさんで北西側では、変位速度が小さいことが明らかになった。

北海道：GNSS等の観測・調査を継続するほか地殻弾性厚推定等を実施した。屈斜路カルデラ内では10-6/yearオーダーの大きなひずみ速度が検出された。カルデラ縁辺では伸長、内部では収縮のひずみとなる複雑な空間分布を呈している(図6)。屈斜路カルデラ周辺の温泉井温度プロファイルデータの収集により、伝導型を示す井戸の地温勾配から温度構造推定を実施して、地殻の脆性延性境界と考えられる350等温プロファイルを簡易的に作成した。カルデラの南東の前弧側では等温線の深さが10km程度であるのに対し、カルデラ内では最も浅いところで3km程度と浅く、カルデラ北東の背弧側では再び10?程度まで深くなることが明らかになった(図6)。この結果は、地殻弾性層厚が空間的に変化している可能性を示唆する。音響探査による屈斜路湖底の変動地形調査を実施した。湖底全域において断層を示す変動地形は確認されず、1938年屈斜路地震(M6.0)断層は地表には表れていない可能性が高い。1938年地震時に発生した可能性がある湖底地すべり堆積物が確認され、地震時津波の発生要因の可能性が示唆された

噴火発生場：阿蘇火山では2016年4月に発生した熊本地震本震により火山研究センター本館が被災し使用不能となったため、京都大学火山研究センターでは研究活動の停滞を余儀なくされた。また、水準路線路や水準点の一部が土砂崩れにより遺失したため、阿蘇火山での水準測量を来年度以降に延期するなどの影響がでた。その後、関係諸機関の協力を得て観測点復旧や仮事務所設置などを実施し、研究機能の復旧にも順次取り組んでいる。

この地震のため、阿蘇火山の監視能力も一時期に低下したが、地震から約2週間で観測点の復旧作業は終了した。そして、10月8日に発生した水蒸気爆発の前には、さまざまな前兆をとらえることができた。図7にGPSなどによる地殻変動観測の例を示す。地震直後からマグマ溜まりをはさむ基線での伸びが観測されていた。これは熊本地震の余効変動であると解釈されていたが、7月以降にその伸びが加速しはじめた。マグマ溜まりの膨張を示す傾斜変動も同時期に観測されていたことから、9月下旬には気象庁と連絡をとりあい、火山活動の活発化の認識を共有することができていた。

これらの活動に深く関連していると考えられる構造としては、阿蘇カルデラ周辺観測点で得られた遠地地震波形のRF解析で見出された中央火口丘の下、8~15kmのS波低速度領域がある。これは深部低周波地震発生域や地殻変動発生源に近接しており、深部地殻あるいは上部マントルからの高温物質の移動により、低速度層内にマグマが蓄積している可能性がある。

地震火山相互作用：噴火に先行して発生する微動と火山噴火の関連を調べるための実験的研究を進めた。微動源は水蒸気気泡の振る舞いと関係がある。また、天然間欠泉の周期性を再現できる室内間欠泉実験においても同様の振動現象が観測されており、その特徴的周波数は、噴出開始時刻が近づくにつれて、系統的に減少していくことがわかっている。本研究では、振動の振幅や周波数の系統的变化と気泡発生との関係を解明するために、アナログ実験を行った。沸騰による気泡の不均質核形成(核沸騰)を模した実験装置をデザインし(図8a)、気泡のサイズと気泡の成長速度を独立に制御して、振動特性の依存性を調べた。その結果、発生する圧力パルスの最大振幅は気泡成長速度の1/2乗(体積増加速度の3/2乗)に比例し(図8b)、発生する振動数は、気泡成長速度や最終気泡サイズには依存しないことが分かった。さらに、気泡発生場所の水圧や水柱の高さの影響を調べた結果、特徴的周波数は水柱の高さの-1/3~-1/2に比例して減少することが分かった(図8c)。

- (9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Abe, Y., T. Ohkura, T. Shibusaki, K. Hirahara, S. Yoshikawa, H. Inoue (2017) Low velocity zones in the crust beneath Aso caldera, Kyushu, Japan, derived from receiver function analyses, Journal of Geophysical

Research, in press, DOI: 10.1002/2016JB013686

- Aizawa K., H. Asaue, K. Koike, S. Takakura, M. Utsugi, H. Inoue, R. Yoshimura, K. Yamazaki, S. Komatsu, M. Uyeshima, T. Koyama, W. Kanda, T. Shiotani, N. Matsushima, M. Hata, T. Yoshinaga; K. Uchida, Y. Tsukashima, A. Shito, S. Fujita, A. Wakabayashi, K. Tsukamoto, T. Matsushima, M. Miyazaki, K. Kondo, K. Takashima, T. Hashimoto, M. Tamura, S. Matsumoto, Y. Yamashita, M. Nakamoto, and H. Shimizu (2017), Seismicity controlled by resistivity structure: the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu Island, Japan. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 4, doi:10.1186/s40623-016-0590-2.
- 相澤 広記 (2016), 火山電磁気観測の進展, *火山*, 61, 2, 345-365.
- Matsumoto, S. (2016a), Method for estimating the stress field from seismic moment tensor data based on the flow rule in plasticity theory, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070129.
- Matsumoto, S., T. Nishimura, T. Ohkura (2016b), Inelastic strain rate in the seismogenic layer of Kyushu Island, Japan, *Earth, Planets and Space*, 68:207, DOI: 10.1186/s40623-016-0584-0
- 松本聡・山下裕亮・中元真美・宮崎真大・酒井慎一・飯尾能久・2016年熊本地震合同地震観測グループ (2016), 2016年熊本地震断層周辺の応力場とその変化, *日本地震学会秋季大会*, S21-02, 名古屋, 10月.
- 松島健・手操佳子・中尾茂・清水洋・松本聡・中元真美・内田和也 (2016), GNSS Campaign 観測で捉えられた2016年熊本地震の地殻変動, *日本地球惑星科学連合2016年大会*, MIS34-P32, 幕張, 5月.
- 中尾茂, 松島健, 田部井隆雄, 山品匡史, 大倉敬宏, 西村卓也, 澁谷拓郎, 寺石眞弘, 伊藤武男, 鷺谷威, 松廣健二郎, 加藤照之, 福田淳一, 渡邊篤志, 三浦哲, 太田雄策, 出町知嗣, 高橋浩晃, 大園真子, 山口照寛, 岡田和見 (2016), GNSSによる2016年熊本地震発生後の地殻変動観測, *日本地球惑星科学連合2016年大会*, MIS34-P31, 2016. 幕張, 5月.
- 中尾茂, 松島健, 田部井隆雄, 山品匡史, 大倉敬宏, 西村卓也, 澁谷拓郎, 寺石眞弘, 伊藤武男・鷺谷威・松廣健二郎, 加藤照之・福田淳一・渡邊篤志, 三浦哲, 太田雄策, 出町知嗣, 高橋浩晃, 大園真子, 山口照寛, 岡田和見 (2016), 2016年熊本地震後のGNSSによる余効変動の観測, *日本地震学会2016年秋季大会*, S21-17, 名古屋, 10月.
- 中尾茂, 松島健, 田部井隆雄, 山品匡史, 大倉敬宏, 西村卓也, 澁谷拓郎, 寺石眞弘, 伊藤武男, 鷺谷威, 松廣健二郎, 加藤照之, 福田淳一, 渡邊篤志, 三浦哲, 太田雄策, 出町知嗣, 高橋浩晃, 大園真子, 山口照寛, 岡田和見 (2016), 2016年熊本地震後のGNSSによる地殻変動の観測, *日本測地学会第126回講演会講演予稿集*, 141-142.
- Nagasaki, S., H. Ishibashi, Y. Suwa, A. Yasuda, N. Hokanishi, T. Ohkura, K. Takemura (2017) Magma reservoir conditions beneath Tsurumi volcano, SW Japan: evidence from amphibole thermobarometry and seismicity, *LITHOS* in press, DOI:10.1016/j.lithos.2017.01.011
- 太田雄策, 大園真子, 高橋浩晃, 日野亮太 (2016), キネマティック PPP 解析を用いた2016年熊本地震による動的歪み場の特徴, *日本測地学会第126回講演会*, 70, 2016年10月, 水沢市文化会館.
- 大園真子, 高橋浩晃 (2016), GNSS データに基づく2016年熊本地震の前震・本震時のひずみ・応力変化, *日本測地学会第126回講演会*, 71, 2016年10月, 水沢市文化会館
- 清水・他 (2016), 2016年熊本地震の緊急合同地震観測 - 地震活動の特徴と背景 -, *日本地球惑星科学連合2016年大会*, MIS34-P02, 2016. 幕張, 5月.
- 志藤あずさ・松本聡・清水洋・2016年熊本地震合同地震観測グループ (2016), 2016年熊本地震震源域の3次元地震波速度構造, *日本地震学会秋季大会*, S21-P28, 10月, 名古屋市.
- Takahashi, H., M. Ohzono, K. Minato, N. Okazaki, T. Suzuki, T. Takahashi, F. Akita. Magma, thermal structure, strain concentration and active seismicity in Kussharo caldera, Hokkaido, Japan, JKASP2016, Fairbanks, AK, USA, 31/05/2016.
- 内田康人, 岡崎紀俊, 山崎新太郎, 高橋浩晃, 音響調査による屈斜路湖の湖底地形・堆積構造と内陸地震の関係について, *日本地震学会講演予稿集*, 2016年10月, 名古屋国際会議場

Usui Y., Y. Ogawa, K. Aizawa, W. Kanda, T. Hashimoto, T. Koyama, Y. Yamaya, and T. Kagiya (2016), Three-dimensional resistivity structure of Asama Volcano revealed by data-space magnetotelluric inversion using unstructured tetrahedral elements. *Geophysical Journal International*, 208 (3), 1359-1372. doi: 10.1093/gji/ggw459.

山下裕亮・松本聡・中元真美・宮崎真大(京大防災研)・松島健・清水洋・飯尾能久・2016年熊本地震合同地震観測グループ(2016), 稠密観測データによって再決定された余震分布から推定される平成28年(2016年)熊本地震の断層構造, 日本地震学会秋季大会, S21-P26, 10月, 名古屋市

(10) 平成29年度実施計画の概要:

地震観測: 現在展開されている臨時観測点の再配置や見直しを行いながら、活動把握を進める。また、応力場、構造解析をさらに行う。

比抵抗構造: これまで観測を実施していない宮崎県において100点規模の広帯域MT観測を行い、九州の地殻比抵抗構造の特徴を得、特に注目すべき場所をピックアップする。

GNSS観測: 継続するとともに、2016年に観測したGNSSデータについても解析を行い、各観測点における地殻変動を求める。2004年から2016年までの各観測点の座標値変化を使って計算した歪の時間変化を見積もり、豊後水道スロースリップ発生時の歪変化、平成28年熊本地震後の歪変化を明らかにする。さらに、これらの歪変化や変位のその空間分布を再現できるような九州の有限要素モデルの構築を試みる。

北海道: GNSS等の観測調査を継続するほか弾性層厚を考慮した地殻変動モデリングの予備解析を行う。
阿蘇火山: 阿蘇火山におけるGPS観測を継続し、水準測量を実施する。構造推定として、阿蘇カルデラ、加久藤カルデラでの地震波干渉法による表面波トモグラフィや始良、加久藤カルデラでのレーザー関数解析を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

九州大学大学院理学研究院附属・地震火山観測研究センター

他機関との共同研究の有無: 有

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻 中尾茂

九州大学大学院理学研究院地球惑星科学専攻 寅丸敦志

北海道立総合研究機構地質研究所(岡崎紀俊ほか4名)

(電磁気観測および噴火発生場観測は全国連携研究)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

電話: 0957-62-6621

e-mail: hshimizu@kyudai.jp

URL: www.sevo.kyushu-u.ac.jp

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 松本 聡

所属: 九州大学大学院理学研究院附属・地震火山観測研究センター

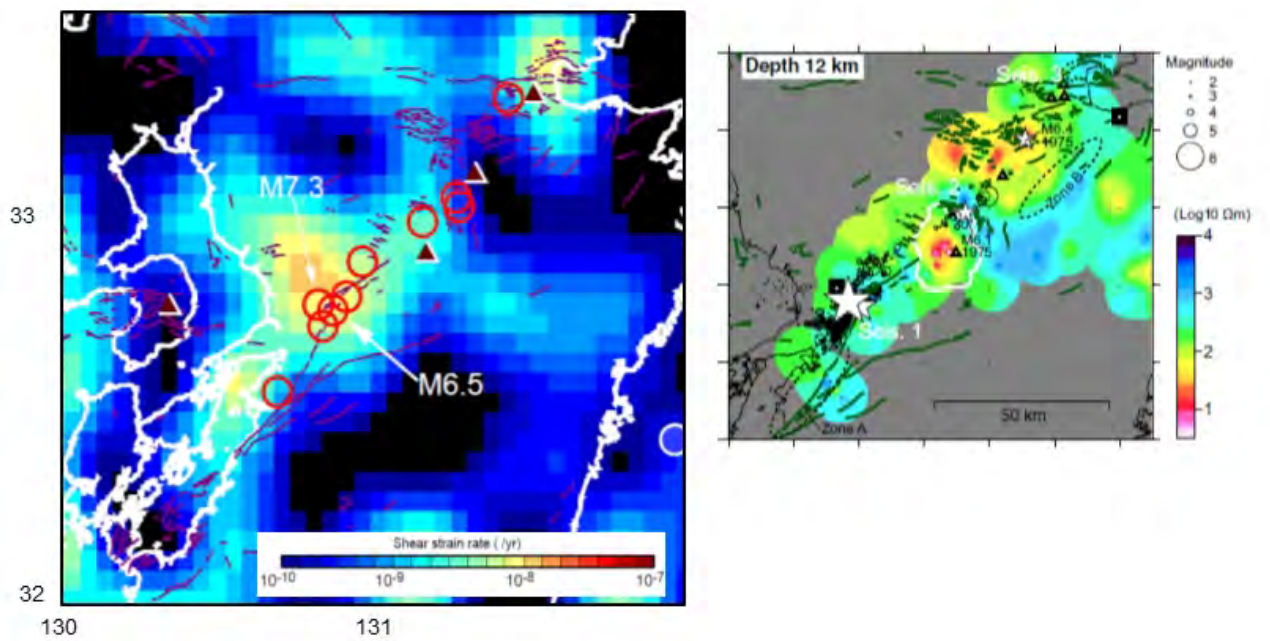
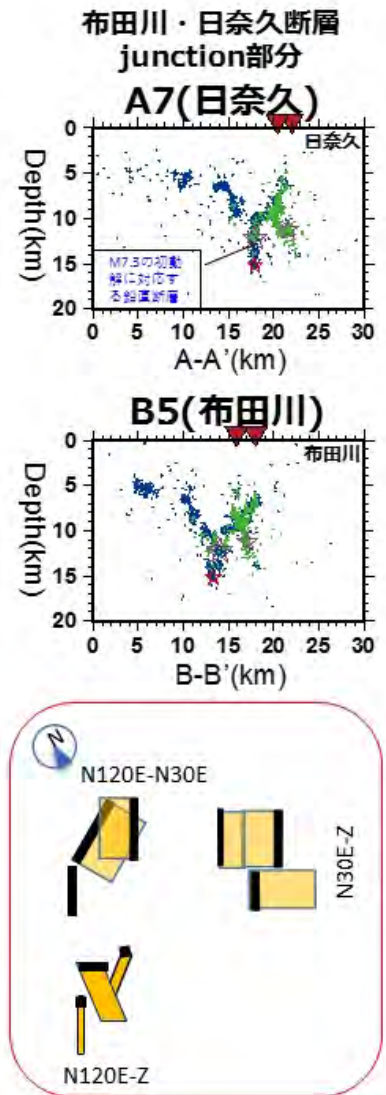
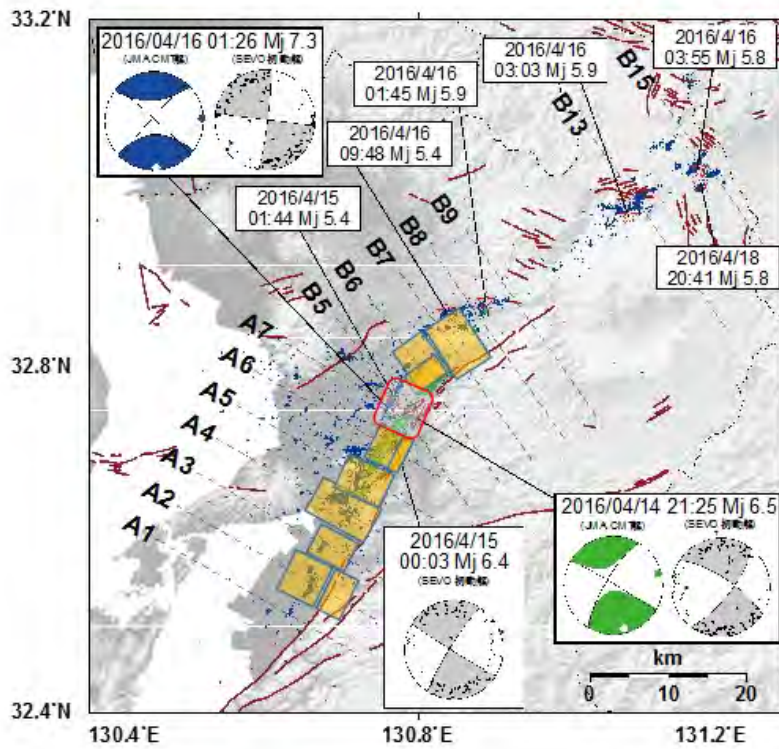


図 1

左)地震活動から得られた、地震発生前の地震発生層内、最大せん断非弾性ひずみレート。赤丸は M5.5 以上の地震の震央。右)1次元解析から得られた深さ 12 kmにおける比抵抗構造。星は規模の大きな地震の震央。



山下・他(2016)に加筆

図2

震源分布から得られた断層形状。山下・他(2016)によって得られた詳細な震源分布に断層の形状を記入した。また、初動解による発震機構と気象庁のCMT解を示している。日奈久断層、布田川断層の接合部の震源分布図(山下・他, 2016)と断層形状を抜き出して右に示す。

GPS Campaign 観測で捉えられた、熊本地震時の地殻変動

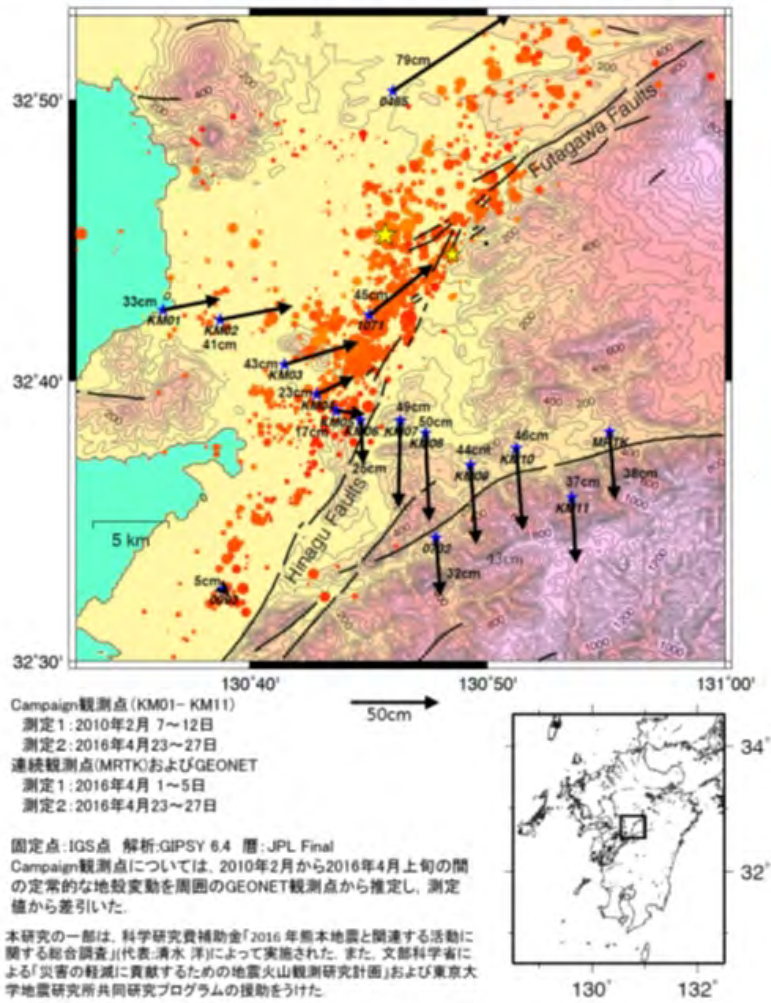


図 3

キャンペーン観測によって得られた地震時・直後までの地殻変動 (松島・他, 2016)

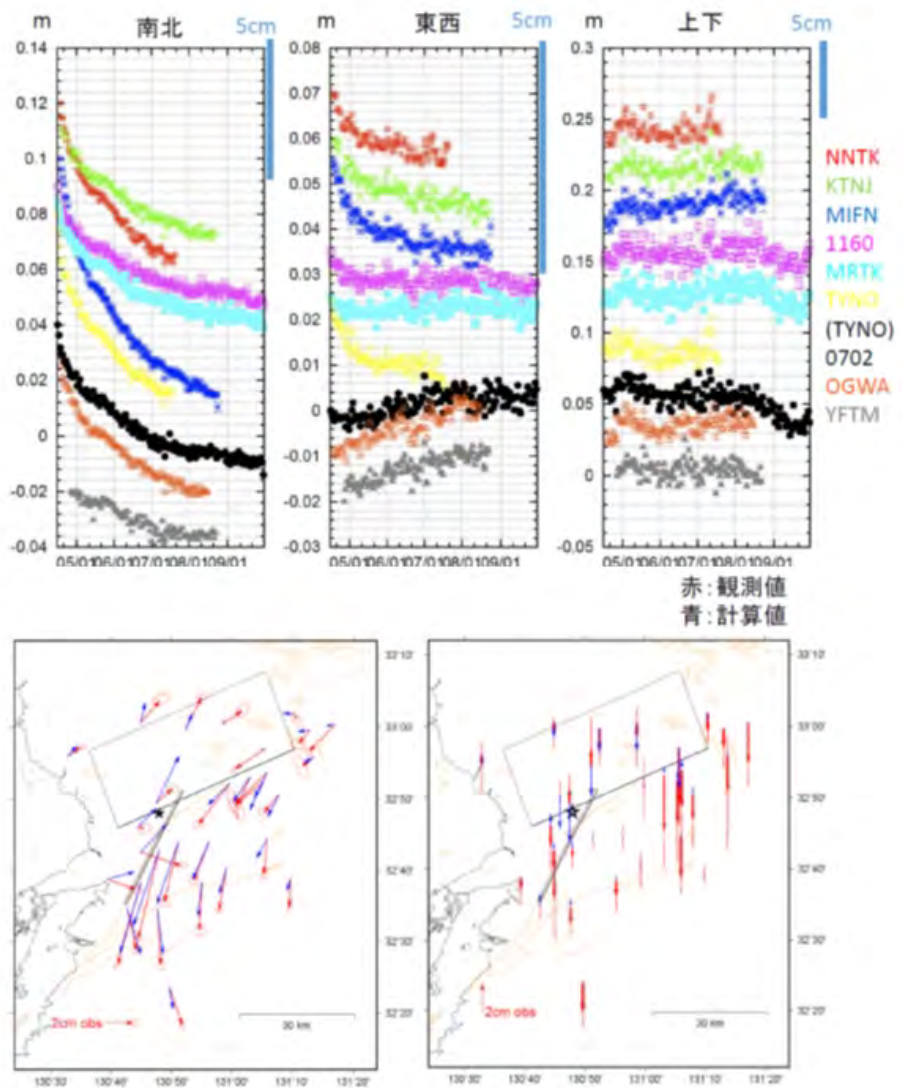


図 4

上) 日奈久断層の南東域の観測点で観測された余効変動 (4 月 1 6 日 ~ 9 月 3 0 日) .
 下) アフターズリップ断層モデル (余効変動データは観測開始から 7 月 7 日まで)

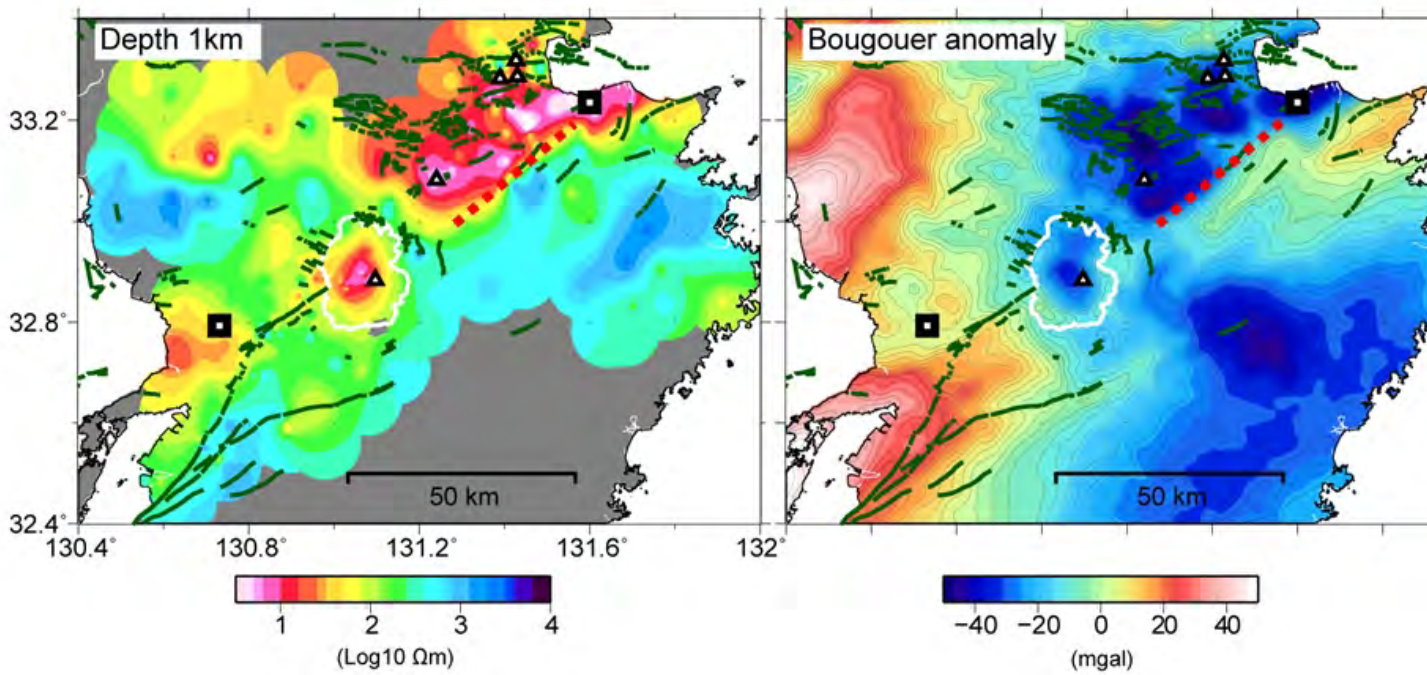


図 5

1km 深の比抵抗構造と重力異常

別府-九重は 低比抵抗、低重力のグラブエンになっていて、その南端は、四国から中央構造線の延長部に相当。

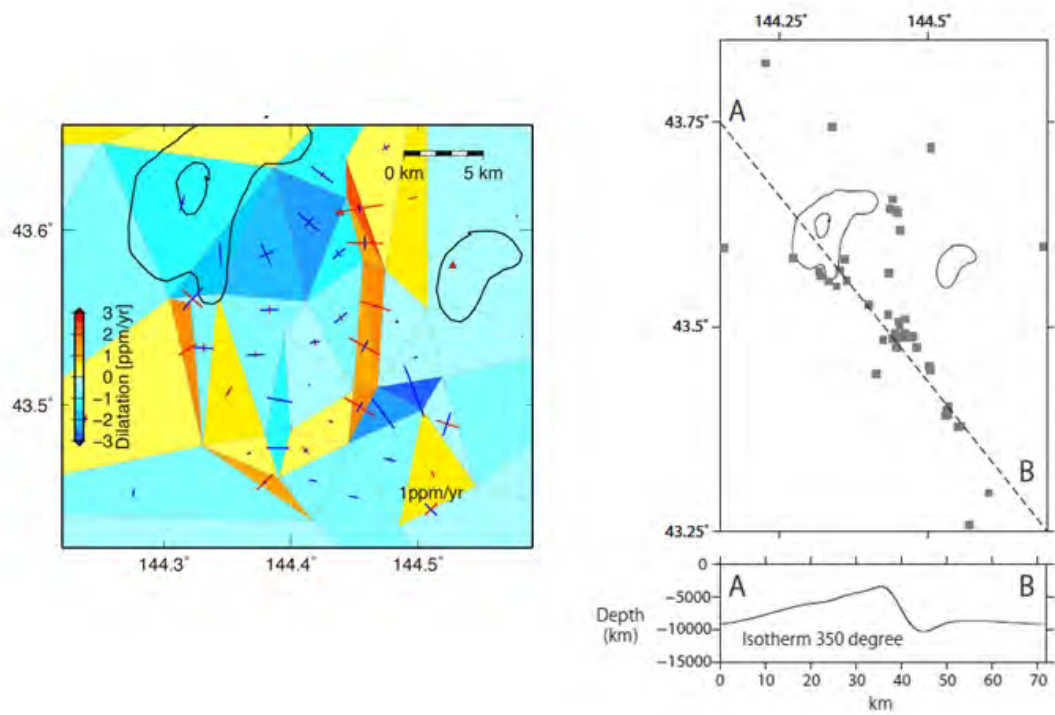


図 6
 屈斜路カルデラのひずみ速度分布（左）と地温勾配から推定される 350 等温プロファイル（右）

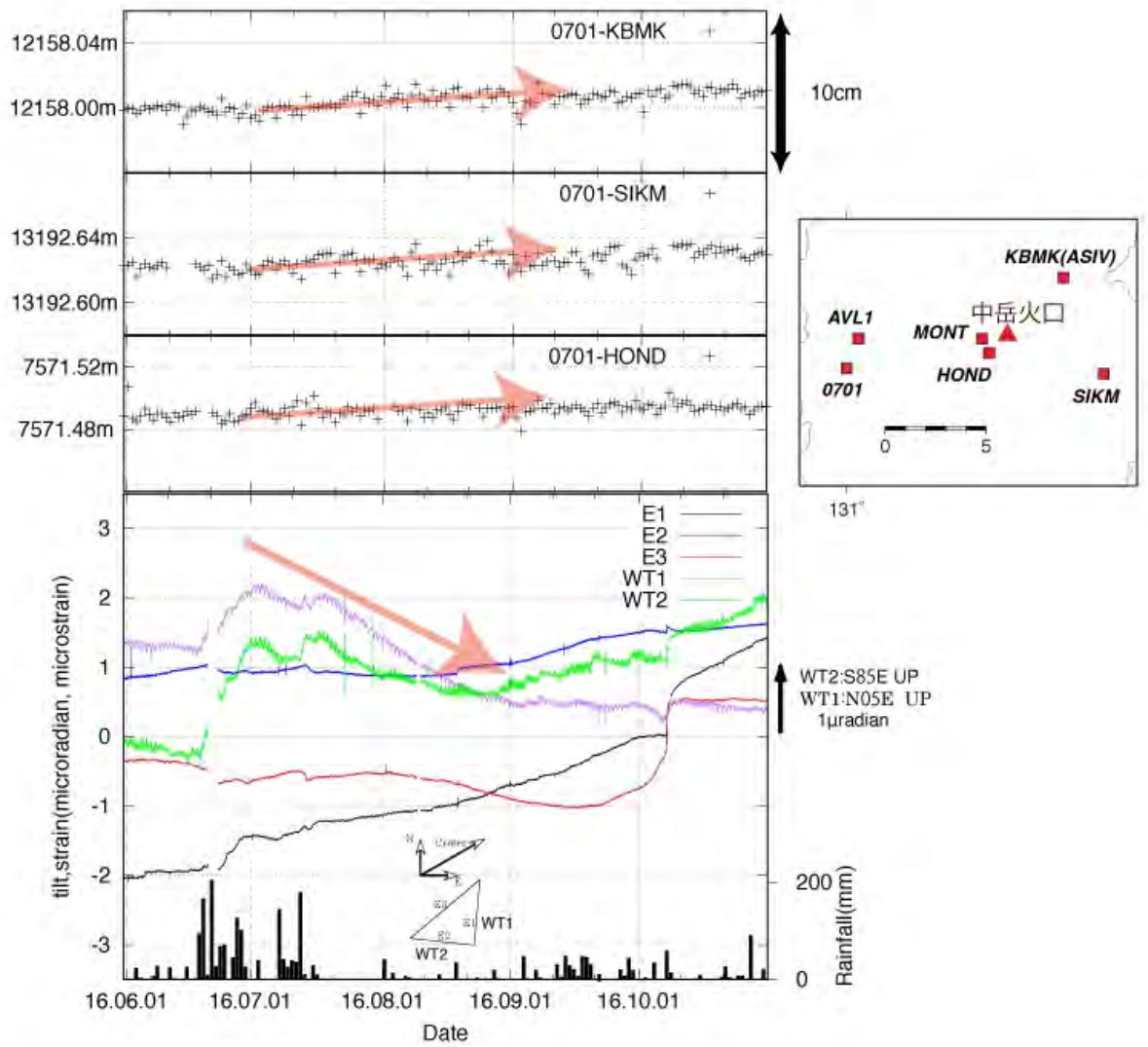
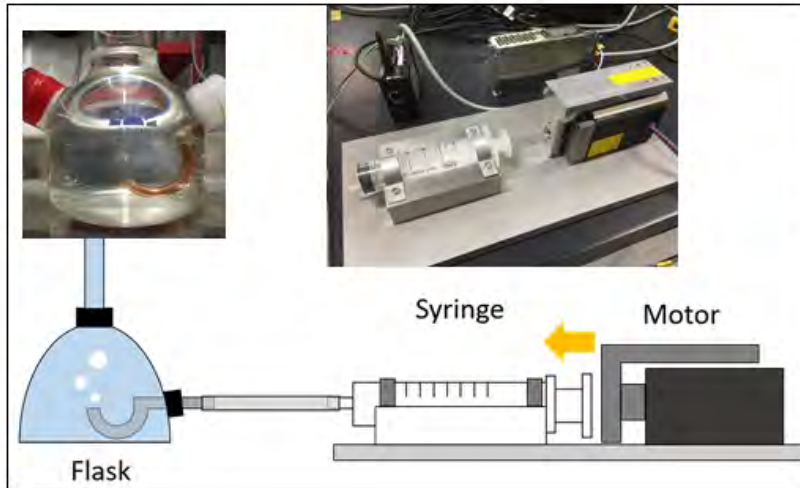


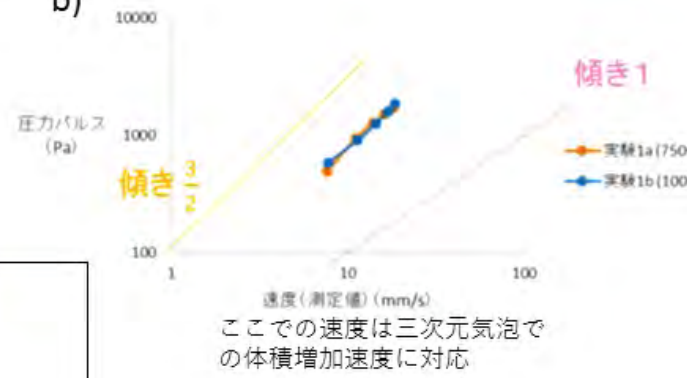
図 7

GPS 観測によるマグマ溜まりをはさむ基線の変化と地下坑道 (HOND) での傾斜計、伸縮計データ。2016 年 7 月 1 日から 2016 年 10 月 31 日。なお、国土地理院、防災科学技術研究所のデータも使用している。基線の伸びとマグマ溜まり方向の上昇が同時に観測されている。これは余効変動では説明できず、マグマ溜まりの膨張を示すものである。

a)



b)



c)

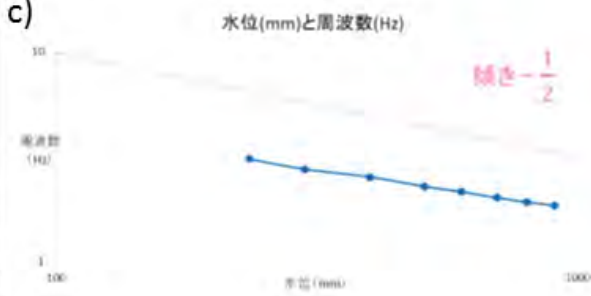


図 8

a) 沸騰による気泡の不均質核形成 (核沸騰) を模した実験装置。 b) 発生する圧力パルスの最大振幅と気泡成長速度。 c) 発生する振動数と水位

(1) 実施機関名：

鹿児島大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海域と島嶼域における地震・地殻変動観測による南西諸島北部のプレート境界域テクトニクスの観測研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

当該領域においては、陸域が海溝軸から 100～200 km 離れた島弧軸に沿って直線状に配列する島嶼に限定されるため、プレート境界付近の微小地震活動等の時間空間的变化の詳細な把握に限界がある他、プレート境界の 3 次元形状も十分には把握できていない。一方で、当該領域のテクトニクスの解明においては、東北日本弧や南海トラフとは異なり、背弧活動(沖縄トラフの拡大)の影響を無視できない。本課題は、精度を向上させて推定するプレート境界の 3 次元形状と沖縄トラフ拡大の寄与を考慮した地殻変動のモデリング、及び繰り返し地震の解析から当該領域のプレート間の固着域、固着率、固着状態の推移を明らかにする。また当該領域では、短期的スロースリップイベントや超長周期地震の発生が最近明らかになったことから、本課題では非火山性微動等も含めたプレート境界周辺域で発生する現象の理解を進める。これらの結果を基に、当該領域のテクトニクスについて考察し、日向灘や南海トラフとの連続性や相違点について比較する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、平成 26～30 年度において、海底地震計を同一位置に繰り返し投入し、無人島を含む島嶼域での地震観測点と併せて、島弧軸に直交する方向にも拡がりをもつ継続的な地震観測網を構築する。また、限定された陸域を最大限に活用するために、無人島や未設置の有人島における GNSS 観測を積極的にいき、平成 26 年度から 5 年を通じて地殻変動データを蓄積する。これらの海域及び島嶼域の臨時観測点データ、常設観測点データのデータを併合処理することにより、以下の項目についての観測研究を実施する。

(a) プレート境界の 3 次元形状：平成 26 年度から 5 年において、海域及び島嶼域で得られた地震観測データにトモグラフィ解析を適用し、速度モデルを推定する。平成 26 年度の 1 次元速度モデルの推定から開始し、観測データの蓄積状況に応じて、3 次元速度モデルの推定に拡張する。これらの速度モデルを適用した震源決定に基づき、海溝軸付近における反射法探査による浅部構造の先行研究と比較考察しながら、プレート境界の 3 次元形状について、精度を向上させて推定する。データの蓄積に応じて、速度モデルと 3 次元形状モデルを逐次修正する。

(b) GNSS 観測データの解析：平成 26 年度は、当該領域における剛体としてのプレート運動を求める。平成 27 年度は、観測データからプレート運動を除去することにより、当該領域の弾性変形を解明する。一方、過去に実施された構造探査の結果を用いて、地殻 - マントル境界の形状モデルを生成する。平成 28 年度は、(a) のプレート境界の推定形状をモデルに取り込み、3 次元有限要素モデルを構築する。平成 29～30 年度は、3 次元有限要素法を用いたフォワードモデリングを行い、沖縄トラフ拡大率、フィリピン海プレートの境界面の固着域、固着率を推定する。GNSS 観測データの蓄積による精度向上を図り、かつ (a) の形状モデルの修正に応じてフォワードモデリングを繰り返すことにより、モデルの改善を行う。

(c) 繰り返し地震解析、非火山性微動等の現象の理解：島嶼域及び海域で継続的に得られる地震観測データを用い、平成 26 年度から 5 年を通じて、繰り返し地震の解析から固着域、及び固着率の推定を継続して実施する。この結果を、(b) で得られる固着域、固着率と比較考察する。また、平成 26 年度から 5 年を通じて、非火山性微動等のプレート境界周辺域の現象について、発生位置の推定、活動様式を明らかにし、固着域、固着率との関係、短期的スロースリップイベント、超長周期地震との時間的空間的關係を比較考察する。

平成 30 年度は、以上の (a)～(c) の結果を基にし、当該領域のテクトニクスについて考察する。また、推定された固着の状態、非火山性微動等のプレート境界周辺域における現象の活動様式の視点から、隣接する日向灘や南海トラフとの連続性や相違点について比較考察する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

海域及び島嶼域における観測：平成 28 年度は、2 航海（4 月、及び 7 月）にわたり、当該海域に平成 27 年度に投入した 6 台の長期収録型海底地震計（LOBS）6 台（図 1 (a) の L1～L6）を回収するとともに、航海前に予め準備した 6 台の LOBS を同一位置に再投入した。これらの回収及び再投入のための作業は、平成 27 年度までと同様に長崎大学水産学部附属練習船・長崎丸の教育関係共同利用に基づき実施された。これら 6 観測点のうち 3 観測点（L2, L3, 及び L6）は、繰り返し観測を平成 26 年度に開始しており、約 2 年間の連続データを取得済である。他の 3 点は平成 27 年度に追加設置した観測点で、約 1 年間の連続データを取得済である。さらに平成 28 年度は、2015 年 11 月 14 日に沖縄トラフ北部で発生した M7.1 の浅発地震の余震域付近に 5 台の LOBS を追加投入し、新たに余震観測を開始した（図 1 (a) の T1～T5）。この地震活動は、本課題における沖縄トラフの拡大の影響を考慮した地殻変動モデリングに影響を与える可能性がある一方で、陸域から離れているため陸域の地震観測データのみでは特に深さの精度が無い。この余震観測は、GNSS 解析による断層モデルの構築に資することも目的としている。一方、島嶼域における短周期地震、及び GNSS 観測を継続した。ただし、平成 28 年中に予定していた無人島のデータ回収及び保守作業予定は気象・海象が適しないことにより 10 回（延べ 15 日）に及ぶ延期が生じ、女島、宇治島、及び横当島においてそれぞれ 1 回ずつの実施にとどまった。これらの無人島でのデータ収録は概ね順調であるが、平成 29 年 2 月に約 16 か月ぶりに渡島

できた横当島では、乾電池電圧低下による地震観測データの1か月超の欠測、収録メモリ不足によるGNSS観測データの4か月の欠測が生じた。

3次元速度モデルの解析：1次元速度モデルと観測点補正値の再解析を行った。さらに、震源位置の精度向上を目的に、解析された1次元速度モデルを初期モデルに用いた3次元速度モデルの暫定解析を行った(図1(c))。3次元速度モデルの解析においては、対象領域に3次元のグリッドモデルを適用し、P波速度、S波速度、及び震源要素を同時に決定した。一方で、観測点補正値については、1次元解析で得られた補正値(図1(b))を与えて固定した。観測点間隔がやや疎のため、震央が海域及び島嶼域観測点に囲まれるM3.0以上の地震を対象とし、平成28年度のLOBS回収で得られた1年間のデータを加えて抽出された合計374個の地震の観測データを用いて解析した。その結果、緯度・経度方向のグリッドノード間隔を0.5°とした場合、ダンピングを強く与えれば収束解が得られた。このことは、現時点の解析データセットを用いた場合の水平方向の空間分解能が0.5°程度であり、より分解能が向上した解析のためには、観測データのさらなる蓄積が不可欠であることを示す。得られた速度モデル(図1(c))では、島弧軸に直交する方向の速度の不均質や、沈み込むプレートに対応すると推定される高速度領域の存在が示唆された。得られた3次元速度モデルを適用した震源計算を試行した結果、震源座標の発散や波線決定における解の非収束が認められた。これらのことも、解析データ数が限定されることに起因して、得られた速度モデルの精度が十分で無く、かつ速度コントラストが過大に推定されている可能性がある。

GNSS解析：平成27年度に引き続き、島嶼域におけるGNSS観測を継続した。2015年11月14日には、薩摩半島から西南西に約120kmの沖縄トラフ内でM7.1の地震が発生した。当該領域においては、これまで地震活動が低調であり、M7を超える地震が発生したことは知られていない。沖縄トラフのテクトニクスを考える上で重要な地震と考えられるため、島嶼域に展開したGNSS観測点における地震時変動の観測を用いて、地震の規模(すべり量)と走向の詳細な検討を行った。図2(a)に得られた地震時変動を示す。観測点は震央の西側には展開できないことから、断層面の形状については、断層の位置、断層の長さについて余震分布を参考にするとともに、断層の深さと傾斜を0.1kmと90度に、断層の幅については長さの半分であると仮定した。なお、断層すべりは右横ずれを仮定した。余震分布は地震発生後北北東に伸びているが、震央付近での余震活動は活発ではなく、北北西に伸びた部分で活動が活発で、かつ最大余震も発生した。これらのことから、本震から北北西に伸びた余震域全体を震源断層の長さ(52km、モデル1)とした場合と北北西に伸び余震活動が活発な部分を震源断層とした場合(17km、モデル2)を考え、GNSS観測点のうち震央に近い4点のデータを用い、すべり量と走向をsimulated annealing法で求めた。走向についてはモデル1でN9°E、モデル2でN13°E、すべり量についてはモデル1で0.32m、モデル2で2.25mと推定された。図2(b)と図2(c)にモデル1とモデル2の観測値と理論値の比較図を示す。剛性率を $3.0 \times 10^{10} \text{Nm}^{-2}$ と仮定してモーメントマグニチュード計算した結果、モデル1でM6.6、モデル2でM6.5と推定された。気象庁のモーメントテンソル解によるマグニチュードは6.7であることから、地震時変動からの推定値とほぼ同程度であることが分かった。以上の結果、GNSSデータからも2015年11月14日に発生した地震がほぼ横ずれ断層で説明できることが分かった。

海域データによる低周波微動の検出と発生位置の推定：これまでの島嶼域地震観測点網のデータから、低周波微動が南西諸島北部域でも活発であることが分かってきた。平成28年度は、2014年4月~2016年3月の2年間にLOBSで取得されたデータを解析し、低周波微動の検出を試みた。検出の方法は、各LOBS観測点において、低周波微動が卓越する周波数(0.5~2Hz)、高周波側の帯域(5~10Hz)、及び低周波帯域~高周波帯域をすべて含む帯域、のエンベロープ波形を求め、それぞれの振幅比、またノイズレベルとの比を1秒毎に求め、一定の基準を10秒以上連続して超えた場合に1イベントとカウントすることとした。その結果、解析期間においては2014年6月、同年11月、2015年10月、2016年2~3月の4期間で低周波微動のバースト的な活動が観測された。図3に、解析期間のうち、2015年4月~2016年3月の1年間において海溝軸側観測点(L3、L5、及びL6)で検出された低周波微動の日回数を示す。2015年10月と2016年2~3月に低周波微動の南から北へのマイグレーションが示唆

された。なお、2015年4月にL5の観測を開始した後、低周波微動の検知能力が向上したと推定され、海底における長期かつ連続観測により低周波微動活動頻度が明らかになりつつある。さらに平成28年度は、震央位置の推定手法について検討した。LOBS観測点データと島嶼域観測点データを用い、エンベロープ相関法による震源決定を2014年5月～6月の活動に適用した例を図4に示す。観測点間隔が広く、観測点も少ないため、震央位置は多分の誤差を含んでいると思われるが、エンベロープ波形の相似性および走時差を確認したところ、おおよその位置は間違っていないと考えられる。

なお、本観測において検出された低周波微動は、波形の特徴から日向灘で見られる浅部低周波微動と同様のイベントで、かつ日向灘と同様にマイグレーションを伴う活動特性を有する可能性があると考えられる。

相似地震解析（領域ごとの準静的すべり速度の時間変化）：日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとに、相似地震が発生する度にその地震発生前1年間の準静的すべり速度を求め、時間変化について調べた（図5）。解析対象領域・解析期間中に発生したM6.5以上のプレート境界地震は4個である。このうち3個については、地震発生の少し前から準静的すべり速度の増加が認められた。ただし、残りの1個（2009年10月30日のM6.8）については、同様の変化は認められない。地震発生後は4ケースともに相似地震発生数が減少し、準静的すべり速度も遅くなっている。規模の大きな地震の発生前後における準静的すべり速度の時間変化が示唆されたが、さらに観測事例を増やしていく必要があると考える。また、上記の地震発生前後を除くと準静的すべり速度は概ね大きな時間変化はなく安定していたが、最近2～3年前から半数以上の小領域で準静的すべり速度が増加する傾向を示しており、注目していく必要がある。

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
中尾茂・八木原寛・平野舟一郎・後藤和彦・内田和也・清水洋，2016，2015年11月14日に薩摩半島西方沖で発生した地震による地殻変動，日本地球惑星科学連合2016年大会，SSS32-06。
八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・後藤和彦・馬越孝道・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・山下裕亮・阿部英二・池澤賢志・諏訪祥士・山田知朗・篠原雅尚，2016，南西諸島北部の海域及び島嶼域における地震観測によるプレート境界面形状の推定(3)，日本地震学会2016年秋季大会，S09-P11。
山下裕亮・八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・後藤和彦・馬越孝道・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・山田知朗・篠原雅尚，2016，南西諸島北部の海溝軸付近で発生する浅部低周波微動について，日本地震学会2016年秋季大会，S09-P07。

(10) 平成29年度実施計画の概要：

- (a) トカラ東方海域で観測中の長期観測型海底地震計の回収、及び同一位置への再投入を行うとともに、島嶼域の地震観測を継続する。
- (b) 海域及び島嶼域地震観測データの蓄積に応じて、速度モデルの再解析を行い、3次元速度モデルの修正を行う。修正された3次元速度モデルを用いた震源再計算結果と発震機構解の解析に基づくプレート境界付近の地震の抽出を行い、プレート境界面形状の推移を行う。解析対象をM3.0未満の地震に拡大し、データ数や波線の空間密度の向上を図る。
- (c) 島嶼域におけるGNSS連続観測を継続し、変位速度の観測値の精度を向上させる。南西諸島北部域の3次元有限要素モデルの初期モデルを作成し、プレート内部変形を説明できるプレートの固着率、固着領域と背弧拡大の速度の初期推定を試みる。
- (c) LOBS観測で得られた連続データの蓄積に応じて、南西諸島北部域における浅部低周波微動の検出、震央の推定、活動様式等の詳細な把握を行う。日向灘における活動との連続性の有無について検討を進める。
- (d) 日向灘～奄美大島域における小繰り返し地震の解析を継続し、当該領域の準静的すべり速度の地域性や時間発展の考察を引き続き行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

鹿児島大学大学院理工学研究科 (八木原寛・中尾茂・後藤和彦)

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 (篠原雅尚・望月公廣・塩原肇・山田知朗)

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 (馬越孝道)

京都大学防災研究所地震予知研究センター (山下裕亮)

東京海洋大学 (中東和夫)

九州大学大学院理学研究院 (清水洋)

東北大学大学院理学研究科 (日野亮太)

北海道大学大学院理学研究院 (村井芳夫)

千葉大学大学院理学研究科 (佐藤利典)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所

電話 : 099-244-7411

e-mail : yakiwara@sci.kagoshima-u.ac.jp

URL : <http://leopard.sci.kagoshima-u.ac.jp/noev/home.htm>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 八木原 寛

所属 : 鹿児島大学大学院理工学研究科

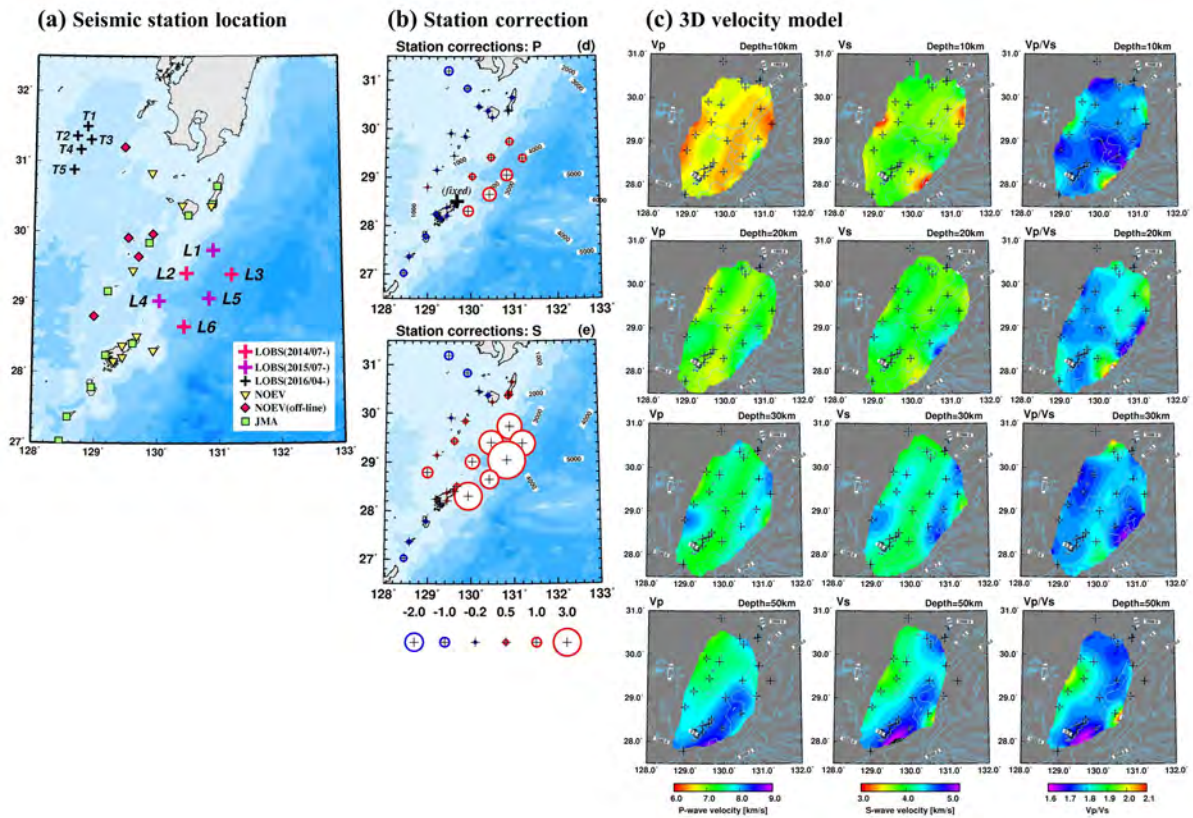


図1 海域及び島嶼域地震観測と推定された3次元速度モデル。
 (a) 海域及び島嶼域地震観測点の配置。+印がLOBSの位置を示す。その他のシンボルは島嶼域地震観測点を示す。T1~T5は、2015年11月14日のM7.1の余震域付近に追加投入されたLOBSである。(b) 1次元解析で得られた観測点補正值。(c) 3次元速度モデルの暫定解析結果。緯度・経度方向のグリッドノード間隔を0.5°とし、グリッド空間を緯度方向・経度方向にそれぞれ0.1°毎に移動させて計算した合計25モデルから得られた速度平均値をプロットした。ただし、Resolution Matrixの対角要素値が0.25以上の位置のみ速度が得られたとした。

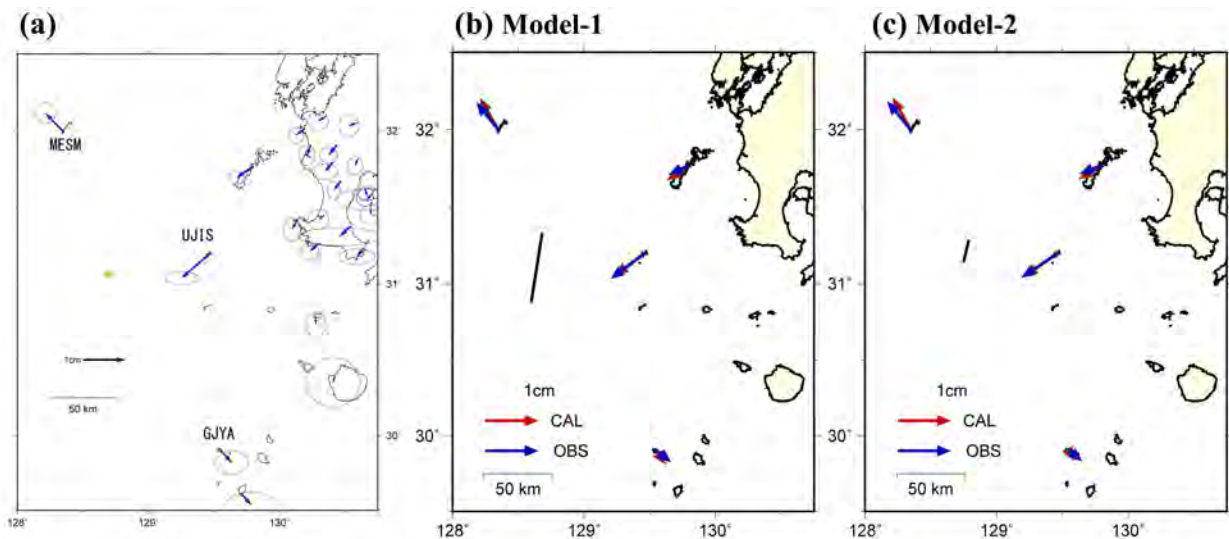


図2 GNSS観測点における2015年11月14日の地震時変動と解析結果。
 (a) GNSS連続観測点で観測された地震時変動。(b) モデル1(断層の長さが52km)の観測値と理論値の比較。(c) モデル2(断層の長さが17km)の観測値と理論値の比較。(b)と(c)の黒太線は、仮定した断層の長さや走向を示す。

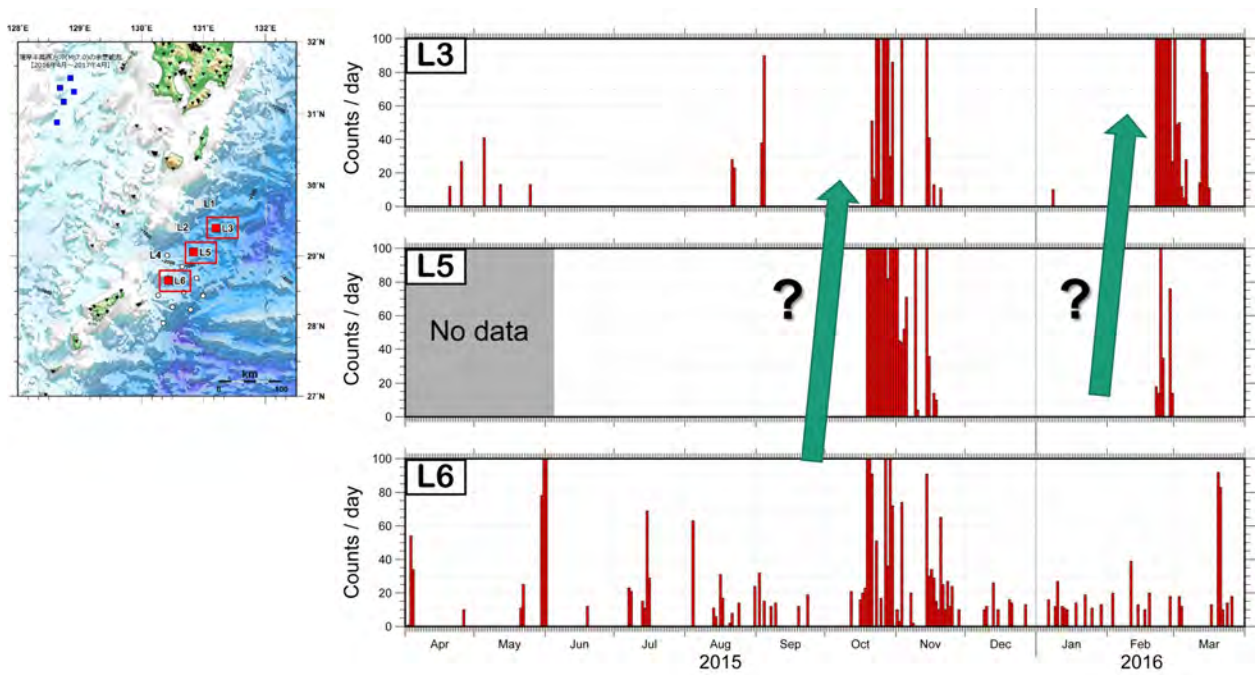


図3 低周波微動の海底観測点における日別検出数（通常の地震や T-phase も一部含んでいる）。L6 はサイトの影響で見かけ上検出が難しくなっている。

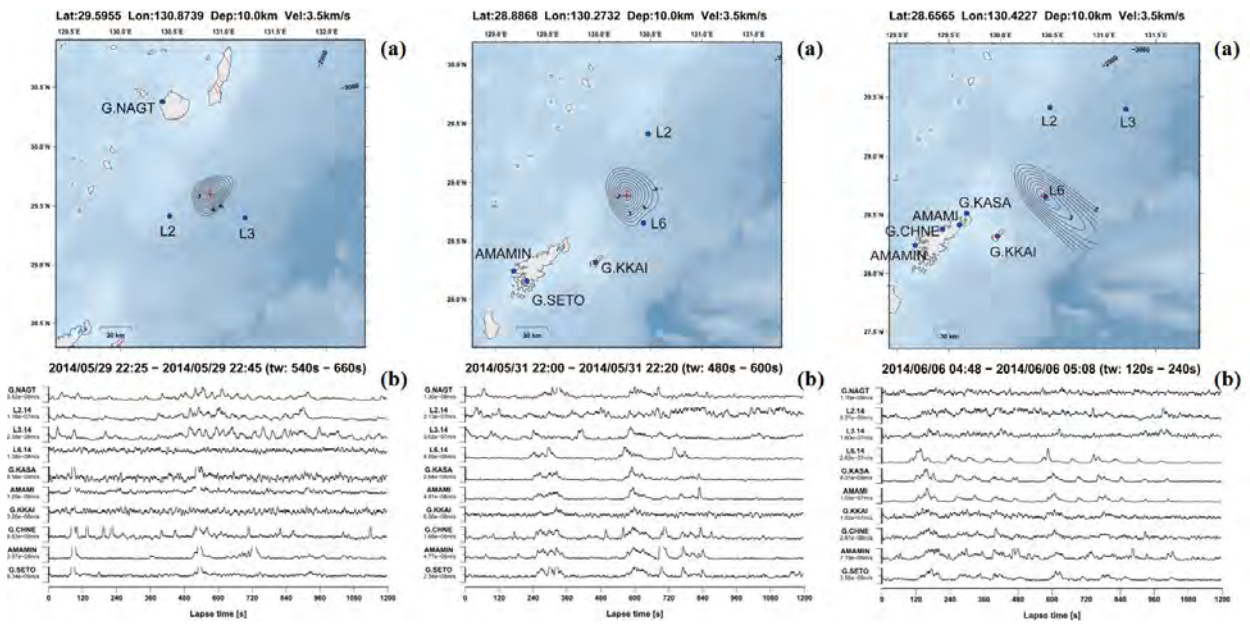


図4 低周波微動の発生位置の推定と波形の例。

(a) はエンベロープ相関法（深さは 10km に固定、time window 120s、S 波速度 3.5km/s を仮定）で求めた微動の震央位置（十字）と残差コンター（0.5s 毎）、観測点（青丸）を示す。(b) はイベント位置を計算した前後の時間を含む、水平 2 成分合成 RMS エンベロープ波形（2-4Hz）である。最大値で規格化し、北の観測点から順に並べた。

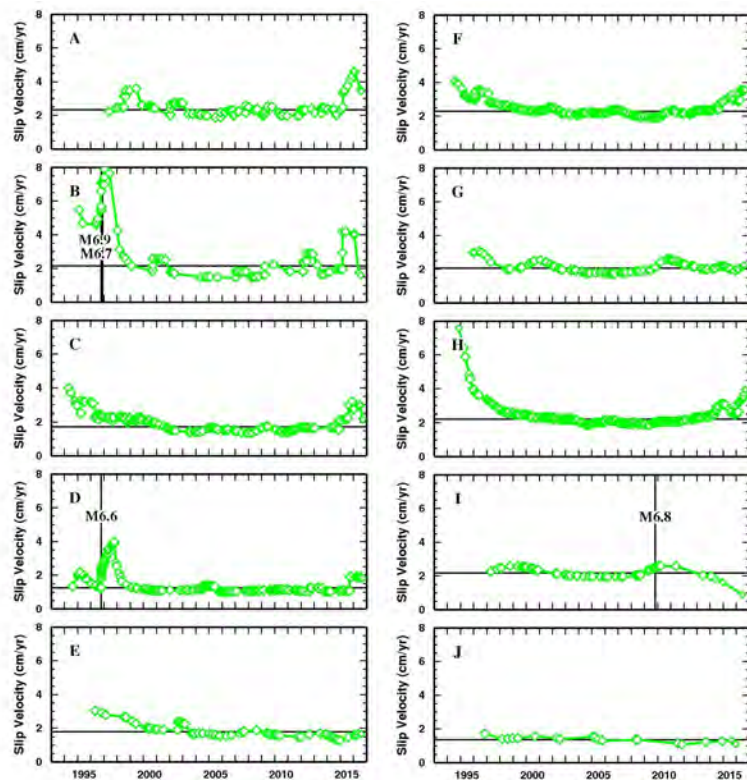
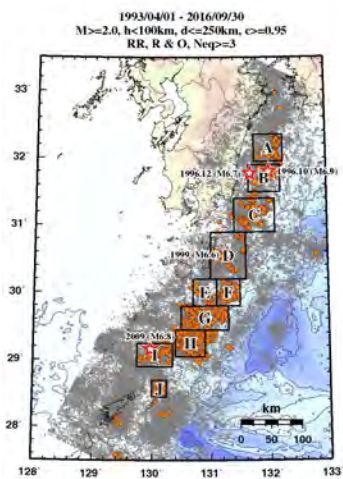


図5 日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとの準静的すべり速度の時間変化。
 左図が領域区分、右図が領域ごとの準静的すべり速度の時間変化を示す。図中の横太線、縦太線はそれぞれ、全期間のデータを用いた当該領域の準静的すべり速度、M6.5以上の地震発生時である。

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

南アフリカ金鉱山の地震発生場における応力・強度・ひずみ変化の現位置計測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(3) 関連研究分野との連携の強化

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

5 か年の間に、これまでの取り組みを更に進め、地質構造の情報も多い南アフリカ大深度金鉱山の地震発生場において、震源と周囲の応力や強度、歪変化の原位置実測データを増やす。現位置測定結果に基づく較正によって、計算機応力モデリングを高度化し、地震ハザード評価の高度化も目指す。そ

の上で、自然地震の研究で用いられている地震の切迫性の間接推定手法（例えば、空白域、 b 値、潮汐応答敏感性）、あるいは、応力の間接推定手法（地震みかけ応力、モーメントテンソル逆解析など）を、よりよく拘束された応力や強度と比較することによって評価する。

（ 7 ）本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度：これまでに、ドリリングは大型科研費に頼っていたが、2013 年度で終わる。次の大型科研費に申請ができるのは、地球規模課題対応科学技術協力の JST の支援の最終年度（2014 年度）である。このため、2014 年度は、次のステップに進むために非常に重要な年度となる。

これまでの取り組みによって技術移転され、構築された体制によって、年に 2 ~ 3 点の応力測定が、複数の鉱山において鉱山自身によって行えるようになってきている。これらは坑道から十数 m 以内の測定である。また、すでに埋設されている石井式歪計の付近の地震活動がピークを迎える。これらに基づき応力モデリングを較正し始める。

後述する他の大型予算の獲得の成否に関わらず、上記については 5 年間続ける。5 年間の研究期間の後半は、較正された応力モデリングの結果と、応力の間接推定手法や地震の切迫性の間接推定手法と比較し評価する。

平成 27 年度以降、大型予算を獲得することを目指し、もし獲得できた場合は、震源を貫通する、もしくは、きわめて近くを通る、坑道から数十 m のドリリングを行って応力分布を実測する。本課題ではこのような測定が可能な候補地を平成 26 年度 ~ 平成 27 年度に見つけ、準備を進める。

（ 8 ）平成 28 年度の成果の概要：

計画（上記（ 7 ））と一致した。

国際陸上科学掘削計画（ICDP）によって、M2.0-5.5 の地震発生場の科学掘削（小笠原・他、2016）が 2016 年 8 月 31 日に採択された（Ogasawara et al. 2017 招待講演）。この計画は、本課題のメンバーと地球規模課題対応科学技術協力の南アフリカ・メンバーが主導し、ドイツ・アメリカ・スイス・インド・オーストラリア・イスラエル・フランスのアカデミアや産業界からも参加者があり 100 名弱で掘削研究が進められる。掘削の準備が進み、2017 年 2 月中に最初の掘削が始まる予定である。掘削ターゲットは、Naoi et al. (2013, 2015abc) あるいは Moriya et al. (2013) が詳細を描き出したマグニチュード 2.0 相当の準静的破壊面、M2.8 地震の震源、M3.5 の震源と震源断層、M5.5 の震源断層の余震活動が高い地域と低い地域の境界付近で、Mode II と III の断層端と予想される付近である（下図参照）。地下 1.0 ~ 3.3 km から長さ 50 ~ 750 m の掘削を 16 本掘削し、地震破壊が始まったところから地震が止まったところまでの掘削直接精査を、異なるサイズの地震破壊に対して行う。三次元応力場が比較的良好に拘束されており、最もコア回収率が高い最大主応力方向にできるだけ沿った方向の掘削が行われる。孔口付近ではオーバーコアリングによって三次元応力場を測定し、掘削コアからは掘削時の弾性変形によるコア断面の楕円度から孔軸に直交する面内の差応力を測定する方法（Diometrical Core Deformation Analysis; DCDA 法；Funato and Ito, 2017）を用いて掘削孔沿いの変化を抑える。孔検層・コアのロギング・掘削後の坑内地震・地下水・地球微生物活動観測などの結果を加え、地震発生場の詳細を描き出すとともに、十分に得られている地震観測データ（前述の Naoi et al., Moriya et al., 今西・他 JpGU2016, Ishida et al. IGC2016, Ogasawara et al. IGC2016, Okubo et al. ASEC2016, Moyer et al. SCEC 2016）などと比較することによって、何が地震破壊の開始や伝播・停止を支配していたかなど、地震学で残されていた課題の解決に取り組む。

DCDA 法による地震発生場の応力測定の実地評価を行うこともことができた。

立命館大学院生 2 名が 2 ~ 3 ヶ月間南アフリカに滞在し、M3.5 の震源付近でのオーバーコアリングを行い、別に行われた震源貫通掘削コアの DCDA 解析を行った。2009 ~ 2010 年度に行われた、M2.0 相当の準静的破壊面付近の十数本の掘削コアに対しても DCDA 解析を行い、より確実に結果を得るための必要な掘削技術を確認することができた。総合解析結果は現在取りまとめ中である。M5.5 の地震発生場の地震反射法探査データの解析も進めることができた。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
今西和俊・小笠原宏・矢部康男・堀内茂木・大久保慎人・村上理, 南アフリカ金鉱山の地震観測網による 2014 年オークニー地震の余震分布と発震機構解, 日本地球惑星科学連合 2016 大会, SSS27-17, 千葉, 2016 年 5 月 26 日 .

Funato, A., T. Ito, 2017. A new method of diametrical core deformation analysis for in-situ stress measurements, *Int. J. Rock Mech. Min Sci.*, 91, 112-118.

Ishida, A, Ogasawara, H snr, Ogasawara, H jnr, Uchiura, T, Durrheim, R, Milev, A, Okubo, M, Yamaguchi, T, and SATREPS, Searching for the significant displacement zone of the 2014 Orkney earthquake fault with strain data and Map3Di for targeting scientific drilling, 35th *Ing. Geol. Congr.*, T8.P1, Paper No.3772, 29 Aug 2016, Cape Town.

Ogasawara, H., R. Durrheim, Y. Yabe, T. Ito, G. van Aswegen, A. Cichowicz, T. Onstott, T. Kieft, M. Boettcher, S. Wiemer, M. Ziegler, C. Janssen, S. Shapiro, H. Gupta, P. Dight, and the ICDP DSeis Team, Drilling into seismogenic zones of M2.0 ? M5.5 earthquakes in deep South African gold mines (DSeis), *EGU Geophysical Research Abstracts*, vol. 18, EGU2016-2057-4.

小笠原宏・矢部康男・伊藤高敏・ワークショップ参加者, 2016, 南アフリカ金鉱山 M2-5.5 地震発生場掘削 ICDP ワークショップ報告, *J-DESC ニュースレター*, No.9, 14 .

Ogasawara, H., Y. Yabe, T. Ito, G. van Aswegen, A. Cichowicz, R. Durrheim, T.C. Onstott, T. Kieft, A. Ishida, H.Y. Ogasawara, T. Yasutomi, A. Funato, K. Imanishi, M. Okubo, M. Boettcher, P. Moyer, W. Ellsworth, M. Ziegler, S. Wiemer, C. Janssen, S. Shapiro, H. Gupta, P. Dight, N. Wechsler, A.K. Ward, B. Liebenberg, Y. Mukuhira, S.N. Somala, J.P. Hunt, S. Bucibo, N. Berset, R. Harris, E.D. Cason, 2017, Drilling to probe quasi-static and dynamic seismic ruptures in deep South African gold mines, *Schatzalp Workshop on Induced Seismicity*, 14-17 March 2017, Switzerland.

Ogasawara, H.Y., H. Ogasawara, M. Okubo, A. Cichowicz, D. Birch, S. Horiuchi, T. Utiura, A. Ishida, SATREPS, The 2014 Orkney M5.5: location of initial and main rupture origins and high energy sources, 35th *Int. Geol. Congr.*, T8.P1, Paper No.3937, 29 Aug 2016, Cape Town.

Okubo, M., A. Cichowicz, D. Birch, H. Ogasawara, O. Murakami, S. Horiuchi, Source Process of the 2014 ML5.5 Orkney earthquake, South Africa, *Asian Seismological Commission General Assembly*, Friday, 25 November 2016, Paper 20, Melbourne.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

DSeis 計画による掘削・孔検層・コアロギング・コア試験や岩石力学および構造地質学的解析を進める . Moyer et al. (SRL submitted) は、破壊過程のインバージョンモデルを募集しており、これと掘削・検層・孔内観測結果とが比較議論され始める . 科研費が採択された場合は、掘削後に地震断層交差部付近に稠密地震観測網や微小破壊観測網を構築し、観測を始める . アメリカ NSF が採択された場合は地震断層交差部に地下水・地球微生物観測を行う .

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

立命館大学・理工学部 小笠原宏

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学大学院理学研究科 矢部康男

東北大学大学院工学研究科 森谷祐一

東北大学大学院環境科学研究科 坂口清敏

東北大学流体科学研究所 伊藤高敏

(公益社団法人) 地震予知総合研究振興会 石井紘

鹿児島大学大学院理工学研究科 中尾茂

京都大学大学院工学研究科 石田毅・直井誠

北海道大学大学院理学研究院 山口照寛
茨城大学理学部 山田卓司
高知大学理学部 大久保慎人
防災科学技術研究所 小村健太郎
産業技術総合研究所 今西和俊
東京大学大学院情報学環 三宅弘恵
東京大学地震研究所 加藤愛太郎
京都大学防災研究所 Jim Mori

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：立命館大学 研究部 リサーチオフィス (BKC) PJ 管理担当

電話：077-561-2802

e-mail：t-taka-a@st.ritsumei.ac.jp

URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci_eng/

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：小笠原宏

所属：立命館大学・理工学部

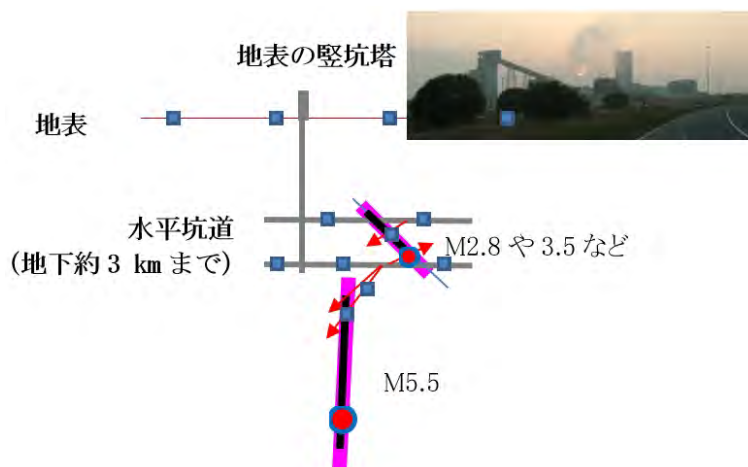


図 南アフリカ金鉱山の大深度で実施する DSeis 計画の特長を示した鉛直断面模式図。

黒太線はアスペリティ、マゼンタ色の線はアスペリティ周縁部、赤丸は本震開始点、青四角は地震観測点。深さ約 1~3 km の大深度に整備された坑道から百数十 m 以内で発生した M2.8 や M3.5 の地震のアスペリティや余震域に対して十数本の掘削 (赤矢印) を行う。金鉱山最深部から数百 m 下にある、M5.5 の地震のアスペリティやその周縁部へは、2~5 本の掘削を行う。これらの地震のアスペリティや余震域は、鉱山内および地表に設置した地震観測網により明らかになっている。それぞれの地震時すべりが始まった場所を含む、アスペリティ本体やその周縁部を、大深度からの掘削によって直接、詳しく調査できること、掘削孔を利用して震源の極至近距離に観測網を構築し更なる詳細を観察できることが、DSeis 計画の大きな特長である。

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

大規模地震・破壊に先行する極微小な前震活動の発生様式の特徴の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

近年、海外のグループや我々(上述)によって、大規模地震に先行する極微小な前震活動が日本を含む世界各地で発見されている。自然地震における前震活動の存在は、地震計によるリモート・センシングが可能な現象であり、地震発生予測の確度を上げるための鍵となりうる。高感度連続地震観測のおかげで、日本においてその検出は可能であるが、カタログに記載されないほどの極微小な地震であるため、現段階ではその特徴が把握できるほどには検出事例は多くなく、その発生機構や発生条件も明らかにされていない。

一方で、岩石試験時に観測される極めて小規模(マグニチュード - 8 ~ - 7)の破壊(地震)は、本震に相当する主破壊に先行して数多く観測されている。実験においては、我々の新たな計測技術により、微小破壊の震源特性を調べられるようになったことに加え、実験後に回収された試料の内部観察も可能である。

そこで本課題では、定常地震波観測記録を用いた内陸地震における極微小な前震活動の有無を調べ、検出事例の増加を目指す。また、室内実験から得られる主破壊に先行する微小破壊の特徴を踏まえ、前震の発生様式の解明を目指す。そして、室内実験から推定された前震の発生様式を適宜参照しつつ、これまでに確認されている前震活動を用いて、本震発生前に前震が前震であることを予測できるか否かを検討し、検出モニタリングのアルゴリズムの確立を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

前項で挙げた、「定常地震波観測記録を用いた内陸地震における極微小な前震活動の検出事例の増加」、「室内実験から先行する微小破壊の特徴の把握」、「前震の発生様式の解明」、「本震発生前に前震が前震であることを予測する手法、検出するためのモニタリング・アルゴリズムの検討」を以下の手順で実施する。

平成 26 年度においては、高感度地震観測網整備後に日本の内陸で発生した中大規模地震のうち、数 km 以内の震央距離に定常観測点が存在するものを対象に、Doi and Kawakata (2013) の手法を用い、カタログには掲載されていないような極微小な前震の検出を試みる。並行して、内陸地震発生層に相当する封圧下において岩石破壊試験を実施し、その際に Kawakata et al. (2011) による技術を応用し、微小破壊の高感度・連続・広帯域・多点観測をおこなう。微小破壊について、前震・本震・余震系列として、その発生形態を見直し、発生パターン、従来の計測波形では正しく解析できていなかった規模別頻度分布、応力パラメタなどを推定する。

平成 27 年度においては、平成 26 年度の成果を参考にしつつ、引き続き前震の検出と室内実験の実施、微小破壊の解析を実施する。必要に応じて、破壊試験だけではなく二軸せん断試験も実施する。

平成 28 年度においては、内陸地震について、前震が検出されるか否か、検出された場合にはその個数について、震央距離や本震のマグニチュードに関する依存性を明らかにする。また、室内実験後に回収された岩石試料の高分解能 X 線 CT スキャン画像を取得し、室内実験の観測波形データを用いた解析結果と併せて検討することによって、前震活動の特徴を明らかにする。封圧や載荷速度などの条件を変更しつつ、岩石破壊試験・せん断試験を継続して実施する。

平成 29 年度においては、自然地震における前震活動の特徴を考慮に入れ、室内実験から推定された前震の発生様式を適宜参照しつつ、前震を自動的に検出できるようにするアルゴリズムを Doi and Kawakata (2013) の方法を応用することにより検討する。また、中大規模な地震発生の前後の期間以外にも解析期間を広げ、本震が発生したという情報を与えずとも、これまでに検出された前震を検出できるように検討を進める。

平成 30 年度においては、データ解析を進めるとともに、研究成果のとりまとめをおこなう。

ただし、平成 27 年度以降の計画については、成果と進捗状況を照らし合わせながら適宜見直しをおこなう。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

2011 年 6 月 30 日に発生した長野県中部の地殻内地震 (Mj5.4) をターゲットとして、防災科研 Hi-net の震源近傍 (10 km 以内) の 4 観測点の 3 成分連続波形記録を利用し、前震検出の適切な基準について詳細な検討をおこなった。まず、本震発生前 1 週間の連続波形記録に対し、1) 連続波形記録を用いる観測点で得られた地震による記録を含まない常時微動記録、2) 連続波形記録を用いる観測点とは異なる観測点で得られた常時微動記録、3) 全く異なる地域で得られた微小地震波形記録をテンプレートとして用い、対象とする観測点の連続波形記録との間で得られる相互相関係数の頻度分布を求めた。その結果、常時微動記録をテンプレートとした場合には、いくつかの観測点のいくつかの成分において、異常値を含まない正規分布に近い分布が得られた (図 1 左)。一方、S 波が卓越する無関係の地震記録をテンプレートとして用いた場合には、最大で 0.7 程度の高い相関が得られる、すなわち誤検出が生じやすいことが明らかになった。さらに、いくつかの周波数帯に特徴的なノイズを定常的に含んでいる成分の場合には、相互相関係数の頻度分布が正規分布では近似できないものとなることも示された (図 1 右)。このような場合には、平均値 + 標準偏差の X 倍といった閾値の設定は適切ではなく、前震などの通常とは異なる活動であるか否かを判断するための閾値の設定方法が必要となった。そこで、解析対象期間を本震発生 1 週間前から 2 年間さかのぼった期間に拡張し、相互相関係数の頻度分布を求めた。そして、2 年間で 10 回程度検出される相関係数を閾値として設定した。その結果、この期間内に複数の観測点・成分でほぼ同時に閾値を超える事象はほとんど得られなかった。一方、本震発生 14 時間以内においては、複数観測点・成分においてほぼ同時刻 (想定される走時差以内)

に閾値を超える波形が数多く得られ、前震がこの期間においてのみ頻発したことを示す結果となった。

2016年熊本地震に続発した愛媛県北東部の地震(33.946N, 133.691E, 深さ7.7km, M3.1, 2016/04/18 23:19 LT)に関し、これが大地震の前震である可能性を想定し、この地震の波形記録をテンプレートとして、準リアルタイムのモニタリングを1週間ほど実施したが、気象庁一元化震源カタログに記載された2つのM0クラスの地震以外には前震は検出されなかった。

防災科学技術研究所と共同で実施した二軸せん断試験の際に取得された連続波形記録の解析を続けた。平成27年度に検出された、断層全面がすべる大規模な動的すべりイベント(本震)に先行した前震について、その震源を推定したところ、繰り返し似た位置で発生するイベント群があることが示され、それらの波形は互いに酷似していた(図2)。これらは、断層全面がすべる大規模な動的すべりイベントをはさんで発生しており、断層全面がすべることによって前震を発生させるパッチが保持されることが示された。

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
豊本大, 川方裕則, 平野史朗, 土井一生, 相互相関を用いた地震波形解析の検出基準の設定, 日本地球惑星科学連合大会2016年大会, SSS30-P08.

辻村優志, 川方裕則, 福山英一, 山下太, 徐世慶, 溝口一生, 滝沢茂, 平野史朗, 大型岩石試料のスティックスリップ試験中に発生した前震活動, 日本地球惑星科学連合大会2016年大会, SSS27-P22.

豊本大, 川方裕則, 平野史朗, 土井一生, 前震検出のための適切な基準の設定方法 ~ 2011年6月30日長野県中部M5.4の地震を例に, 日本地震学会2016年度秋季大会, S09-P14.

山下太, 福山英一, 徐世慶, 川方裕則, 溝口一生, 滝沢茂, 大型二軸摩擦実験において観察された前震の特徴, 日本地震学会2016年度秋季大会, S08-P17.

Yushi Tsujimura, Hironori Kawakata, Eiichi Fukuyama, Futoshi Yamashita, Shiqing Xu, Kazuo Mizoguchi, Shigeru Takizawa, Spatio-temporal foreshock activity during stick-slip experiments of large rock samples, AGU Fall Meeting 2016, S21B-2697.

Futoshi Yamashita, Eiichi Fukuyama, Shiqing Xu, Hironori Kawakata, Kazuo Mizoguchi, Shigeru Takizawa, Influence of fault surface conditions on foreshock activity in large-scale biaxial friction experiment, AGU Fall Meeting 2016, S21B-2698.

Yutaka Toyomoto, Hironori Kawakata, Shiro Hirano, Issei Doi, Foreshock search over a long duration using a method of setting appropriate criteria, AGU Fall Meeting 2016, MR41B-2702.

Hironori Kawakata, Hidehiro Inaba, Development of a New Piezoelectric Transducer Usable as a Seismograph, Progress in Acoustic Emission, XVIII, 355-358.

(10)平成29年度実施計画の概要:

カタログに記載されている前震をテンプレートとした場合に、微小な前震が新たに検出され、そのような活動は本震発生直前以外には見られないことが平成28年度までに示された。そこで、平成29年度においては、一般的な小地震の波形記録をテンプレートとして利用した場合、群発地震時の波形記録をテンプレートとして用いた場合など、さまざまなケースにおける検討を試みる。これは、本震発生前に前震を前震であると判定できない現状においては、実装に向けての重要なテストとなる。また、前震検出手法の検討に関する平成28年度までに得られた成果を論文として公表することを目指す。

実験分野においては、本震発生をまたいでも保持される前震パッチについてさらに検討を進める。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名:

立命館大学 理工学部 川方 裕則

他機関との共同研究の有無: 有

京都大学防災研究所 土井 一生・加納 靖之

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：立命館大学 研究部 リサーチオフィス (BKC) P J 管理担当 田中
電話：077-561-2815
e-mail：t-taka-a@st.ritsumei.ac.jp
URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci_eng/

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：川方 裕則
所属：立命館大学 理工学部

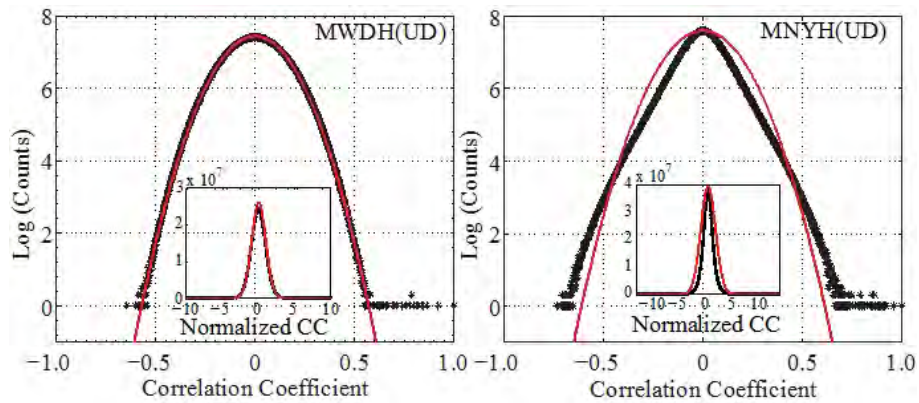


図1 . 本震発生前2年間の相互相関係数の頻度分布の例。

(左) 防災科研 Hi-net の松本和田観測点の上下動成分。(右) 防災科研 Hi-net の松本中山観測点の上下動成分。

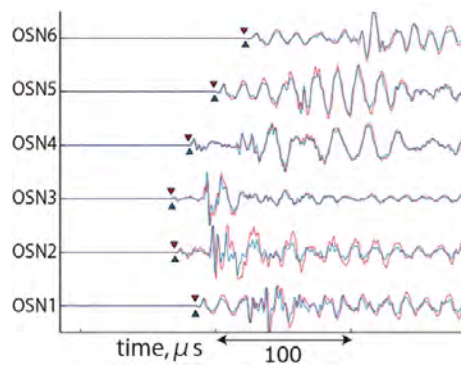


図2 . 大型に軸せん断試験時に得られた微小繰り返しイベントの波形記録の例。

下側ブロックの側面に分布する AE センサーで集録された波形。赤は4回目の大規模な動的すべりイベントの前震記録、青は54回目の大規模な動的すべりイベントの前震記録である。

(1) 実施機関名：

東海大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

電磁気的地震先行現象の観測と統計評価による他種の先行現象との比較

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

観測研究では、時間的・空間的相関が極めて高い結果が得られていたが、当時のデジタル計測技術の限界で中断していた VLF 帯パルス電磁波の新たな観測システムを構築し、VLF 帯における先行現象の有無について一定の結論を得る。VHF 帯の観測研究では、既存の観測網を良好に維持し、ケーススタディを積み重ねる。それ以外の DC-ULF 帯等の観測についてもシステムを良好に維持し、先行現象の抽出を試みる。必要に応じて観測点周辺の比抵抗構造を測定し、現象発現の発現・伝搬メカニズムの理解を進める。

先行現象の統計評価に関する研究では、従来の研究で地震発生との時間・空間的相関が示唆されている力学的現象(GPS 地殻変動、地震活動度変化)、電磁気学的現象(電離層全電子数(GPS-TEC)、地磁気・地電位差変化)などについて、統計的評価を強化し、それぞれの先行現象の地震との相関を定量的に評価する。さらに、各々の現象を利用した地震発生予測法の予測能力を定量的に表現・比較できるような指標を開発する。また、異常の抽出や地震発生の予測の手法において客観性を確保し、第三者が評価可能なデータベースのプロトタイプを作成する。このため、先行現象研究が行われているロシア、キルギス、フランス、中国、台湾、ギリシャ等の研究者と連携し、既存のデータの発掘・再解析を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度は、VLF 帯パルス電磁波の新たな観測装置の試作を行ない、予備観測を開始し最初のデータの取得を行なう。さらに既存の DC-ULF 帯および VHF 帯の観測網を良好な状態で維持する。またこれまで電磁気観測の空白域となっている南海トラフ沿いの地域に、新規複合的電磁気観測点構築を開始する。統計評価に関する研究では、予測マップの形式を定義することから開始し、それを地震カタログと比較して算出される種々の統計量を算出するシステムの構築を開始する。一方で、いくつかの先行現象と目されるものを選定し、試行評価のための予測マップ作成に必要な基礎データとプログラム群を用意する。

平成 27 年度は VLF 帯パルス電磁波の本観測を開始するとともに、それ以外の観測網を良好な状態で維持する。VLF 帯パルス電磁波観測については、先行現象候補と雷放電を判別するためのソフトウェアの開発を開始する。統計評価に関する研究では、試行評価のための予測マップを作成し、さまざまな評価指標を算出する。また東北地方太平洋沖地震の前に観測された GPS-TEC の変動について、観測データの存在する世界中の巨大地震についての解析を終了し、本現象に関する知見をまとめる。

平成 28 年度はすべての観測網を引き続き良好な状態で維持する。VLF 帯パルス電磁波観測については、先行現象候補と雷放電との判別ソフトウェアを完成させる。統計評価に関する研究では、試行評価を複数の現象に対して行い、さまざまな指標の長所・短所を検討する。

平成 29 年度も引き続き観測網を良好な状態で維持するとともに、各々の先行現象から予測マップに変換する作業におけるチューニングによって、さまざまな指標による成績がどのような影響を受けるかを検討する。また、指標値の計算において、地震カタログのデクラスタ等の影響を検討する。

平成 30 年度も引き続き観測網を良好な状態で維持するとともに、本研究で観測・収集・コンパイルされた先行現象のデータベースを作成する。統計評価に関する研究では、統計モデルによる予測との性能比較を行い、成果をとりまとめる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

熊本地震関連の成果

島原観測点で観測された熊本地震に伴う VHF 帯電波伝播異常

北海道大学では、九州大学と共同して長崎県島原市礪石原にある観測点において VHF 帯電波伝播異常の観測を 2011 年 12 月から実施している。2015 年 11 月に観測対象 FM 放送局を変更したが、それ以降に観測している FM 放送局は、高知県四万十市、鹿児島県鹿屋市、宮崎市、和歌山県新宮市、愛媛県新居浜市の 5 局である。

北海道大学では、この観測記録と地震発生の相関を統計的に評価するため予測マップによる方法(詳しくは 27 年度成果報告書参照)を東京大学地震研究所、東海大学海洋研究所と共同で進めている。2016 年 4 月 14 日に前震、16 日には本震と考えられている熊本地震が発生したので、2015 年 1 月 1 日から 2016 年 11 月 30 日までの島原観測点での結果を予測マップ法により統計的に処理した。この予測マップ法では、ある閾値以上の電波伝播異常が観測されたとき警報 ON として、それから L 日間に、(対象地震のうち警報 ON 中に発生した地震の割合/マップ全体に占める警報 ON) を予測ゲイン G として求めた。

今回は、2015 年 1 月 1 日から 2016 年 11 月 30 日までの熊本地震の震源域を挟む宮崎放送局からの観測データについて解析を行った。そして相関をみる対象となる地震は受信点である島原観測点周辺で発生したマグニチュード 4.5 以上の地震とした。ここでは島原観測点で受信している各放送局のデータに対し予測マップを作成し、最適な L を求めるために閾値以上の値を示す日から 2 日から 15 日までの予測ゲインを求めた。その結果、予察的な結果として L=3 日の時が最もゲイン (G) が大きくなる場合が多かった。それで、L=4 日とした場合の予測マップを図 1 に、G およびそれに対する P 値を図 2 に示した。赤の期間が "警報 ON の期間、黄が"警報 OFF の期間 "である。

G や p 値は、この現象が地震の前兆であれば自然に予測されるように、 $M > 6$ の地震の場合が $M > 4.5$ や $M > 5$ の場合より良い値になった。ただ、G の最大値 (=4.6) は $M > 6$ の地震に対して L=2 の時に得られ、その時の p 値は 0.2 と大きく、いまは偶然を否定できない。この時 $r = 0.22$ (警報分率 : 予測

マップで判定不能時期を除いた全領域のうち赤い部分が占める割合)。しかし、評価対象の時空間中では $M > 4.5$ の地震が 9 個しかおこっていないため(熊本地震およびそれ以降 1 月以内に起こった地震は 1 個と数えた)統計的处理には不十分であり、P 値も有意な域には入っていない。当然のことながら、将来さらに多くの例が蓄積されれば p 値が向上する可能性はある。

熊本地震に関する地震学的な先行現象の研究

静岡県立大、東海大、東京学芸大、中部大の研究グループでは熊本地震の地震学的な先行現象について、4 つの手法を適用して解析を行った結果、b 値解析では最も b 値が小さかった領域から破壊が開始していた事が判明した。また静穏化については Z 値解析と RTM 解析を実施した。いずれの解析でも熊本地震の震源域を含む九州西方海域にわたる広範囲な静穏化が 2014 年末ごろから開始していた事が判明した。この地域では、2015 年 11 月に薩摩半島西方で M7.1 の地震が発生しており、熊本地震とこの薩摩半島西方での地震活動は一連のものであった可能性が高い(Nanjo et al., 2016)。図 3 は、b 値の空間分布と時間変化の解析結果である。

熊本地震に先行した VLF 帯パルス電磁波

本計画で新規開発した VLF 帯パルス電磁波観測装置が、地震発生当時、静岡(東海大)、国分寺(学芸大)、金沢(金沢大)の 3 点で稼働していた。地震は観測点からかなり離れているが、解析の結果、熊本地震発生の前の空電の発生していない時間に、静岡および国分寺で震央方向から到来する電磁波が観測されていた(図 4)。

平成 28 年度全体の成果

VLF 帯パルス電磁波観測：電場計測のためのアンブ・収録システムの開発

これまでの予備的な観測の結果、Asada et al., EPS (2001) で報告されているような直線偏波の電磁波は実はそれほど多くない事が判明してきた。従って、電磁波が直線偏波の場合のみ精度が担保される従来の方位探査の手法(ゴニオメーター法)では、電磁波の信号源の位置を精度よく同定できない可能性のある事がわかってきた。また水平磁場 2 成分だけの観測ではポインティングベクトルを求める事ができず、電磁波の到来方向に 180 度の不確定性が残ってしまう。そのため電場計測が追加できるようにアンブおよび多チャンネルに対応した収録システムを開発した。現在試験観測を開始したところである。

また、本計画で開発した装置は 10^8 Hz でサンプリングが可能なシステムとなっており、1 観測点で、アンテナを 30 m 程度離して L 字型に配置すれば、電磁波の到達時間差から見かけ到来方位を決定できる可能性があり、そのための予備的な研究を開始した。

自己回帰モデルを用いた電磁波到来時間の自動判定ソフトウェアの開発

現在の VLF 帯パルス電磁波検知システムでは、各チャンネルごとにトリガーレベルを設定できる。そしてその設定レベルを越えた時にデータを記録するシステムとなっている。

今年度は到達時間差による信号源の同定のため、地震学でよく用いられている自己回帰(AR)モデルを利用した初動の自動読み取りアルゴリズム(例えば Takanami and Kitagawa, Ann. Inst. Statist. Math., 1991)を VLF 帯パルス電磁波に適用し、最初の結果を得る事ができた。しかしながら地震波と違い、定常的なノイズが卓越するような波形も多く、まだパラメータ設定の最適化には至っていない。図 5 に試験的に検知した電磁波の到着判定例を示す。左側から 2 番目の縦点線で機械的なトリガーレベルに達して、トリガーがかかっている。

VHF 帯見通し内電波伝搬異常の研究

これまで VHF 帯の電波伝搬異常については、見通し外伝搬異常について北海道大学が精力的に研究を実施してきた。

それに対し、群馬大学工学院では、見通し内 VHF 帯電波伝搬異常と地震との関係についての研究を行ってきた。見通し内 VHF 帯電波伝搬では、観測点において常時電波(放送波)が受信できるため、見通し外伝搬と異なり、ON/OFF 的な異常発生を検出する事が原理的に困難となる。そこで、長期にわたって受信強度を計測して統計処理することで「正常値」と「伝搬異常値」とを判別する基準を作成し、それに基づいて「伝搬異常発生」を検出する事とした。

群馬大学では、東京・埼玉・千葉・茨城から送信される FM 放送波を観測対象として、群馬大学桐生キャンパスで受信を行っている。これまでの観測で、周辺で発生した M4.5 以上の地震を対象として 7 程度の確率利得が得られたケースもあったと報告されている。さらに気象要素（特に風速）と伝搬異常との関係なども研究しており、強風が吹いていると、地震に先行すると思われる伝搬異常が観測されないという報告もなされている。これは伝搬異常の原因の高度が対流圏に存在する事を示唆している。Fujiwara et al, GRL, 2004) などでも同じ結果が示唆されており、整合的な結果となっている。伝搬異常のメカニズム解明のためにも今後の研究の発展が期待される。

先行現象発現時の電離層の状態に関する研究

北海道大学では、地震発生前 1 時間オーダーの先行現象に関する研究を精力的に進めてきた。He & Heki (2016) は、GNSS-TEC 法を用いてチリで発生した 2010 年 Maule (Mw8.8)、2014 Iquique (Mw8.2)、2015 Illapel (Mw8.3) の三地震の直前に生じた電離圏の異常の空間分布を調べた。それぞれ Mw に応じた空間的広がりを持つ異常が、Mw に応じた先行時間をもって、Mw に応じた強さであらわれることを確認した。特に GNSS 局の分布が良い 2015 年地震に関して三次元トモグラフィーを行った結果、磁場に沿って低高度に正の異常が、高高度に負の異常が並んで生じる構造を見出した（図 6）。これは地表に生じた正電荷への応答として電離圏で生じる電子の再配置により TEC 異常が生じるという解釈も可能であろう。

また北海道大学では、地震直前に生じる TEC 異常の下限を探るため、32 個の Mw7.0-8.0 の地震前後の TEC を解析し、一般的にそれらの Mw を持つ地震の前には観測可能な大きさの TEC 異常は生じないこと、ただし例外的に背景 TEC が大きい場合（低緯度地域の昼間等）に限り、この大きさの地震でも TEC 異常が観測される場合があることが示された。

千葉大学も地震先行現象としての電離層異常についての研究を精力的に実施している。千葉大学では、数日前の電離層の異常の解析を進めているが、一例として、東北地方太平洋地震の 3 日前（3 月 8 日）に大きな電離層電子密度の異常が存在していた事を報告している（廣岡ほか、2016, 図 7）

地震活動長期静穏化現象の predictive な評価法の研究

北海道からカムチャツカ半島までの千島列島沿い（北緯 39~55 度，東経 140~160 度）において、長期静穏化を predictive に使って予測マップを作成する方法を考案し試行した。研究領域内に発生した地震の内、実体波マグニチュード (mb) が 5.0 以上、震源の深さ 60km 以浅の地震を ISC の地震カタログから抽出した。Z 値解析により、長期静穏化が 10 年以上続いたら 1 年間だけ警報 ON にするという方法で予測マップを作成し、試行した。その結果、1993 年から 2012 年までの間、警報分率 (ON の領域が予測対象時空間に占める割合) は約 15% となった。

また、期間中に Mw8.3 以上の地震は、1994 年 10 月北海道東方沖地震、2003 年 9 月十勝沖地震、2006 年 11 月中千島の地震の計 3 個発生した。これらの地震 3 個すべて警報 ON 領域（図中の赤色領域）内部に発生したので、100% 的中となり、ゲイン $G=6.7$ 、p 値は $0.15^3=0.3\%$ となった（図 8）

確率ゲインと統計的有意性が概算できる既存データのレビュー

前年度までに、様々な先行現象候補の予測能力を評価する方法の整備を進めてきた。今年度は大地震の先行現象に関する出版物から、確率ゲインと統計的優位性が概算できるだけのデータを示しているものを探してレビューを行った（中谷, 2016）。さらに、社会的有効性の議論の尺度として役立つとおもわれる、それぞれの現象による典型的な警報の継続時間とその期間内に地震がおこる確率も概算した。先行期間が 1 時間から 1 日程度の直前電磁氣的現象についてそれが先行現象として統計的に有意であるものが複数確認できた。それらは、数倍から二十倍の程度の確率ゲインを示していた。また、地震活動に関して報告されている中長期的な（先行期間数年程度）先行現象に関してもゲイン数倍から十倍程度で統計的に有意と認められるものがあった。一方、短期（数週間から 1 日程度）の先行期間をもつ、いわゆる前震といわれるような現象については、これを predictive に用いることで、百倍から数万倍程度の確率ゲインが得られていることを確認した。物理的な意味での先行現象ではない「本震は前震の余震」（Helmsteter et al., JGR, vol. 108, 2003.）という ETAS で説明のつくみかけの前震でも百倍程

度のゲインが得られることが示されているが、今回レビューしたものの中には、ETAS 効果を上回るゲインであることが示されているものもあった。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- He, L. and K. Heki, Three-dimensional distribution of ionospheric anomalies prior to three large earthquakes in Chile, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 7287-7293, doi:10.1002/2016GL069863, 2016.
- 廣岡伸治、市川卓、服部克巳、韓鵬、吉野千恵、劉正彦、2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に先行する電離圏異常の時空間分布、*電気気学会論文誌基礎・材料・共通部門誌*、136, 265-271, DOI: 10.1541/ieejfms.136.265, 2016.
- Katsumata, K., Long-term seismic quiescences and great earthquakes in and around the Japan subduction zone between 1975 and 2012, *Pure and Applied Geophysics*, doi:0.1007/s00024-016-1415-8, 2016.
- Nanjo, K. Z., and A. Yoshida, Anomalous decrease in relatively large shocks and increase in the p and b values preceding the April 16, 2016, M7.3 earthquake in Kumamoto, Japan, *Earth, Planets and Space*. 69:13, DOI: 10.1186/s40623-017-0598-2, 2017.
- Nanjo, K. Z., J. Izutsu, Y. Orihara, N. Furuse, S. Togo, H. Nitta, T. Okada, R. Tanaka, M. Kamogawa and T. Nagao, Seismicity prior to the 2016 Kumamoto earthquakes, *Earth, Planets and Space*, 68:18, DOI 10.1186/s40623-016-0558-2, 2016.
- Hattori, K., Han, P., Hirooka, S., Liu, J-Y., Assessment of Ionospheric precursory signatures before large earthquakes over Japan area, *Int 'l 2016 EMSEV Workshop*, Aug. 25-29, Lanzhou, China, 2016.
- Nagao, T., J. Izutsu and M. Kamogawa, High-sampling electromagnetic waveform detection system in VLF range, *Int 'l 2016 EMSEV Workshop*, Aug. 25-29, Lanzhou, China, 2016.
- 中谷正生, 巨大地震の前兆現象, シンポジウム「南海トラフ巨大地震の予測に向けた観測と研究」, 2016.
- 森田 笙, 中谷 正生, 茂木 透, 簡単な客観手法で作成した予測マップによる VHF 電波伝播異常と地震発生の相関, *JpGU meeting*, 2016 年 5 月.
- Morita, S., M. Nakatani, T. Mogi, Correlation between earthquake occurrence and the anomalous propagation of VHF radio waves indicated by the gain and the p-value of prediction maps produced by a simple objective algorithm at the Shimabara area, Kyushu, Japan, *AGU fall meeting*, San Francisco, 2016 年 12 月.
- 谷川廣祐、本島邦行、羽賀望 : 見通し内 VHF 帯放送波の伝搬異常と地震及び地表面平均風速の統計的関連性、*日本地震予知学会、第 3 回学術講演会予稿集*, pp.45-48、調布市、2016 年 12 月 .
- 大澤祐輝、本島邦行、羽賀望 : 複数の観測点における見通し内 VHF 帯放送波の伝搬異常と地震の関連解析、*日本地震予知学会、第 3 回学術講演会予稿集*, pp.49-52、調布市、2016 年 12 月 .

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

各種観測点を良好な状態で維持する。

「VLF 帯パルス電磁波観測」においては、電場観測を追加し、ポインティングベクトルを求め、到来方位を決定できるようにする。また「1 観測点での電場 3 成分観測による見かけ到来方位観測システムの開発および改良」では、電波計測を追加し、観測を開始するとともに、見かけ到来方位を決定するソフトウェアを開発する。さらに到達時間差による波源同定のために新しいシステムとして「最大振幅到来時刻を用いた波源同定ソフトウェアの開発」を開始する。

「VHF 帯の電波伝搬異常観測」については、過去のデータに AI 的な知見を加えたノイズ除去やシグナル同定が可能かを試みる。さらに見通し外・見通し内の双方の観測を比較して、VHF 帯電波伝搬異常の発現メカニズムの解明に資する研究を開始する。

「地震活動長期静穏化現象の predictive な評価法の研究」については、パラメータを系統的に変化させ、的中率等の再評価を行なう。

さらに色々なデータセットについての確率利得や p 値を実際に計算し、先行現象の評価作業を集中的に実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

長尾年恭、馬場久紀、佐柳敬造、原田 靖
他機関との共同研究の有無 : 有
北海道大学 (茂木透、橋本武志、日置幸介、勝俣啓)
東京大学地震研究所 (中谷正生、鶴岡弘)
京都大学防災研究所 (西村卓也)
九州大学 (松島健、相澤広記)
東京学芸大学 (鴨川仁)
千葉大学 (服部克巳)
中部大学 (井筒潤)
群馬大学 (本島邦行)
静岡県立大学 (楠城一嘉)
海洋研究開発機構 (末廣潔)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東海大学海洋研究所 地震予知・火山津波研究部門
電話 : 054-334-0411
e-mail : nagao@scc.u-tokai.ac.jp
URL : <http://www.sems-tokaiuniv.jp/EPRCJ>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 長尾年恭
所属 : 東海大学海洋研究所 地震予知・火山津波研究部門

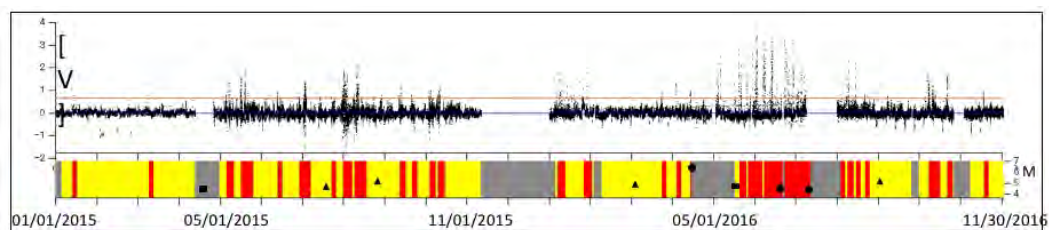


図1 上図は宮崎局からの FM 放送波を鳥原観測点で受信強度したときの強度 (2015 年 1 月 1 日 - 2016 年 11 月 30 日)。空白は欠測期間であり、青線は中央値、赤線は偏差の平均値の 3 倍値を示す。下図は、警報マップで、黄色区間は警報 OFF、赤は警報 ON、灰色は欠測期間を示す。この図では警報期間を 4 日とした。

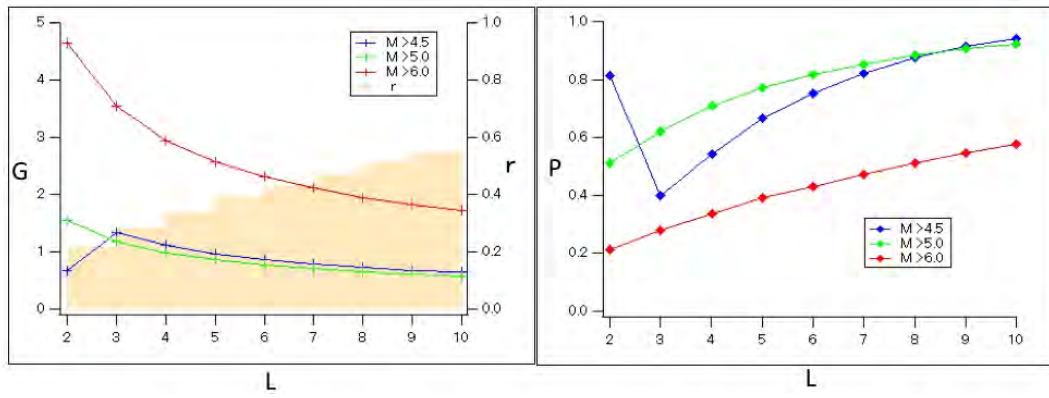


図2 得られた G 値と p 値。横軸 h 警報 ON の日数 (L) を示し、縦軸の左は G 値、オレンジ棒は r を示す、右図の縦軸は p 値を示す。

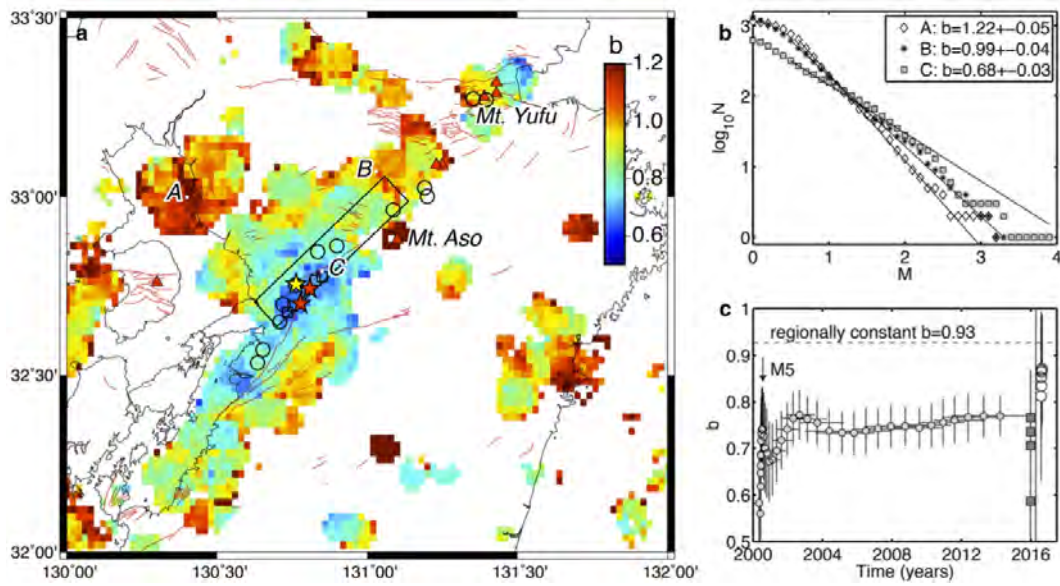


図3 左：b 値の空間分布。b 値の最も小さい地域で破壊が開始した。右上：A,B および C 地域における GR 則のグラフ。右下：本震周辺域における b 値の時間変化 (Nanjo et al., 2016)。灰色の四角は前震から本震発生前。



図4で示したデータの見かけ到来方位。この段階では到来方位には180度の不確かさが残る。

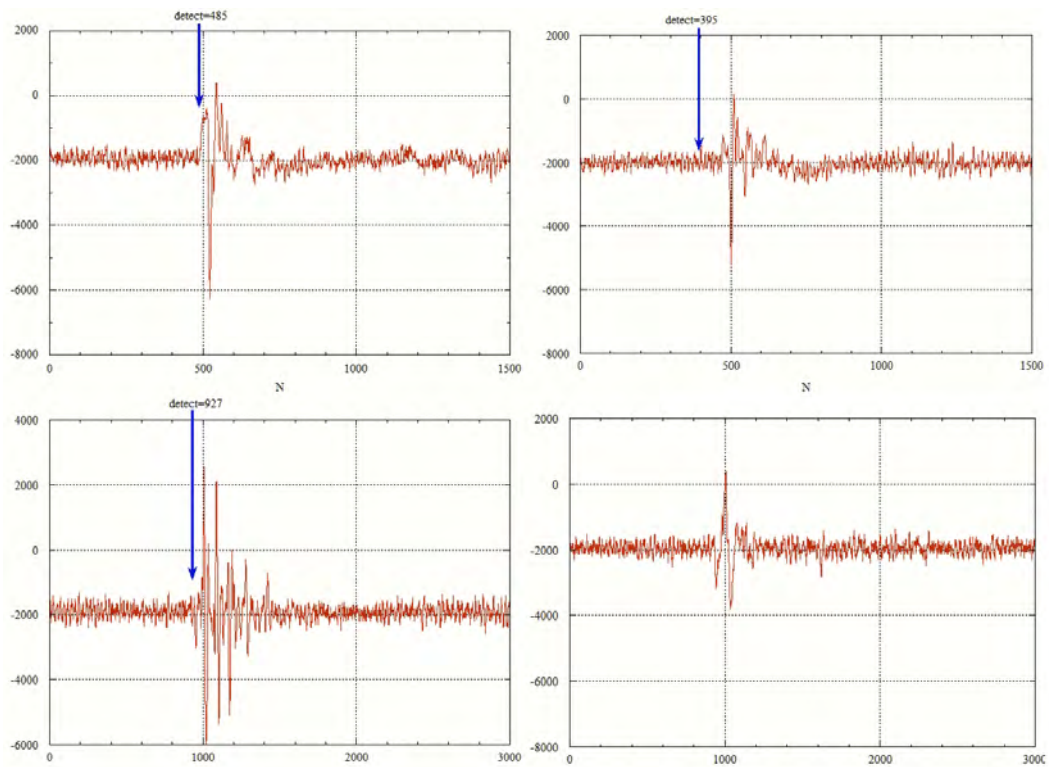


図5 自己回帰モデルを用いた電磁波到来時間の自動判定ソフトウェアの適用例。右下は検知できなかった例。

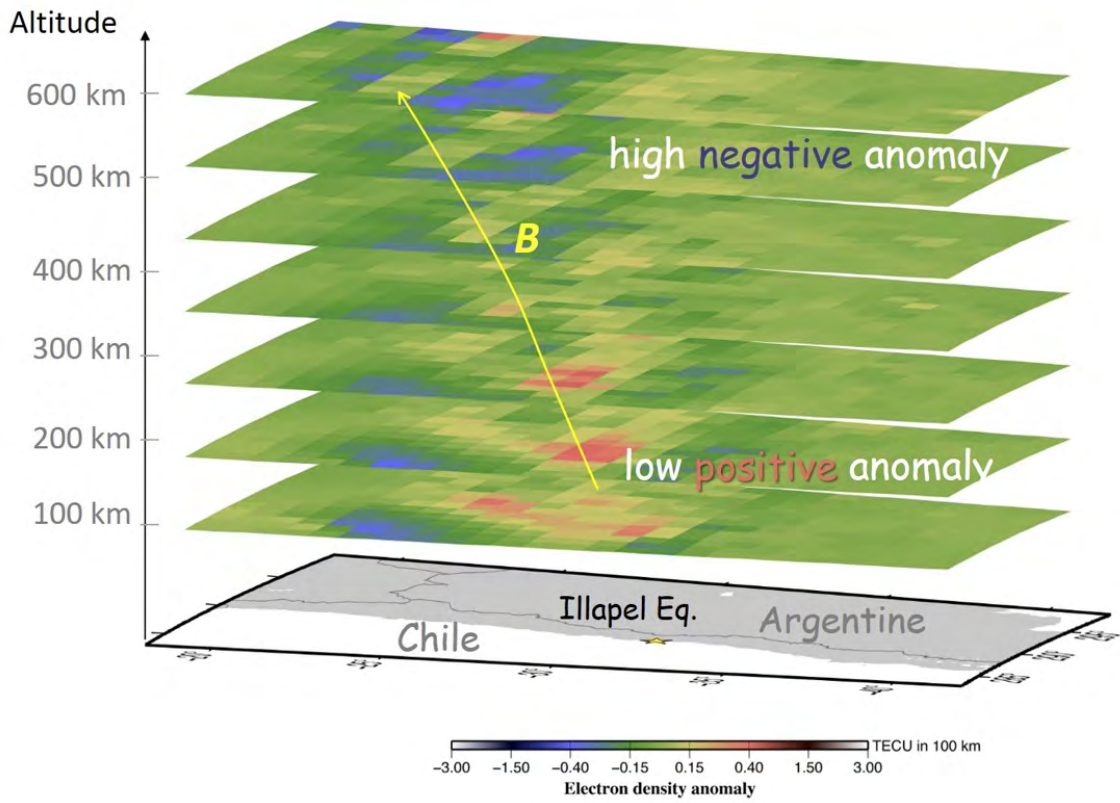


図6 日置らによる電離層トモグラフィの結果。

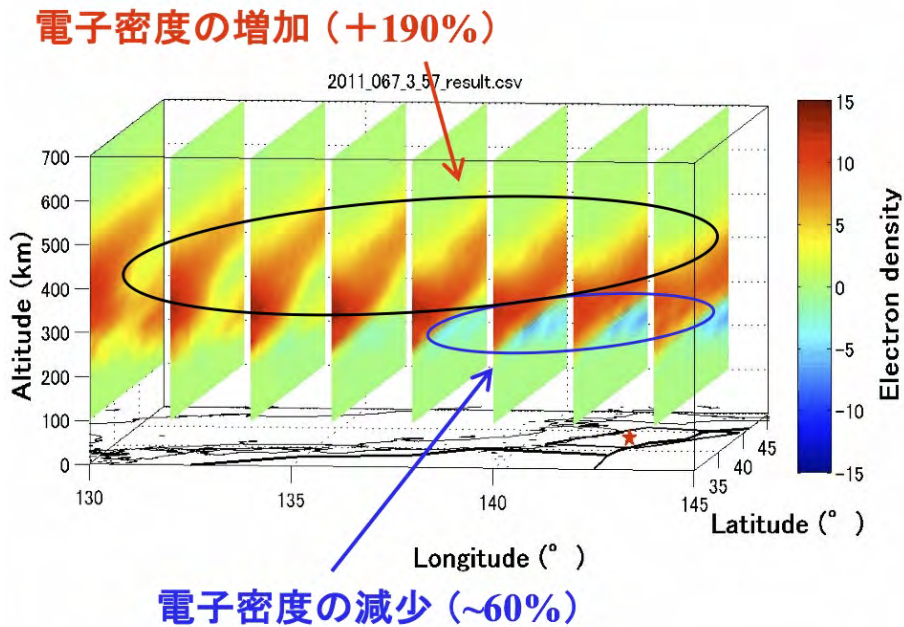


図7 廣岡らによる2011年3月8日の電離層共グラフィの結果。過去15日間の中央値からの差を異常として解析を行っている。

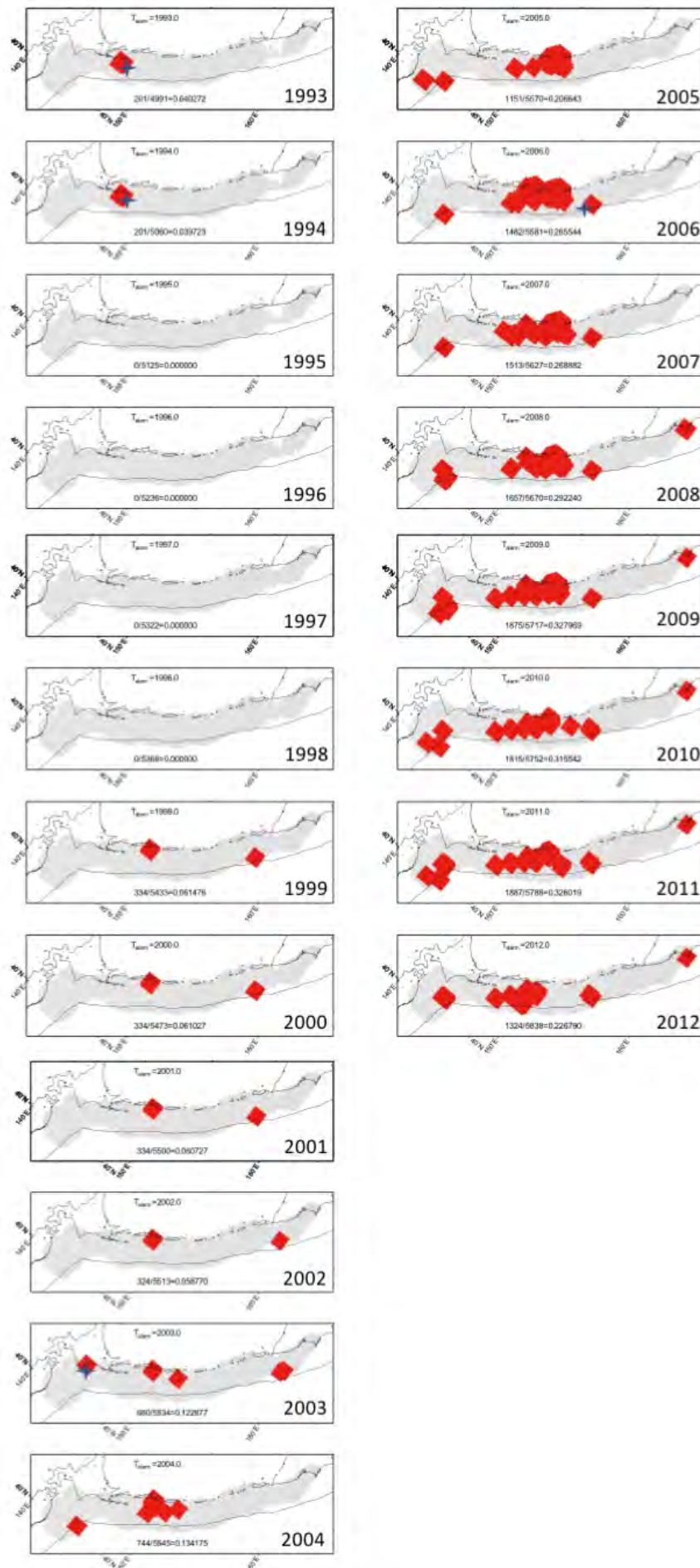


図8 今年度試行した予測マップ(1993-2012年)。各図のT_startは予測期間の始まり時刻を示し、T_startから1年以内にMw8.3以上の地震が起きる可能性がある領域を各図において赤く塗っている。この赤い領域が警報ON領域である。

(1) 実施機関名：

東京大学史料編纂所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

文献史料による歴史地震に関する情報の収集とデータベースの構築・公開

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

イ. 考古データの収集・集成と分析

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

低頻度大規模地震の実態把握のためには、近代以前の被害地震についての調査・研究が必要である。本研究計画では、近代以前の文献史料を対象にして、過去の被害地震に関する記録を収集し、そのデータベース構築と公開を実施する。

近代以前に日本列島周辺で起きた地震(以下、歴史地震と呼ぶ)に関しては、東京大学地震研究所の編集などによって、既に計 33 冊(約 27,000 頁)に及ぶ地震史料集が刊行されている。しかし、これらの地震史料集は幾度ももの増補を重ねているため、現状では地震研究者・歴史研究者の双方にとって利用しにくい状態にある。本研究計画では、この既刊地震史料集に収録された文献史料を分析して、地震の発生した年月日や場所の情報によって検索可能なデータベースを構築する。また、既刊地震史料集には収録されていない地震関連の新史料の調査・収集を実施し、その成果を情報化して公開する。公開にあたっては東京大学地震研究所と連携する。

上記の取組によって、近代以前に起きた被害地震の規模や震源の推定、低頻度大規模地震による災害の実態を解明し、その将来的な予測に寄与するための基盤的なデータベースの構築が期待できる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

[平成26年度]

既存の17世紀以前の地震・火山噴火史料データベースを活用して、近代以前の地震史料について総合的に検索できるデータベースの設計を行う。また、『増訂大日本地震史料』(3冊)、『日本地震史料』(1冊)、『新収日本地震史料』(21冊)、『日本の歴史地震史料拾遺』(8冊)に収録された地震史料の編年的整理(網文・出典史料のデータベース化)を実施する。更に、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料の調査・収集を行う。

[平成27年度]

『新収日本地震史料』(10冊分)の収録史料の解読と地震に関する時間・空間情報及び被害情報を抽出する。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、成果の情報化を実施する。更に、文献史料から抽出した情報を順次データベースに搭載する。

[平成28年度]

『増訂大日本地震史料』(3冊)、『新収日本地震史料』(11冊分)の収録史料の解読と地震に関する時間・空間情報及び被害情報の抽出を行う。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、成果の情報化を実施する。更に、文献史料から抽出した情報を順次データベースに搭載する。

[平成29年度]

『日本の歴史地震史料拾遺』(8冊)の収録史料の解読と地震に関する時間・空間情報及び被害情報の抽出を行う。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、成果の情報化を実施する。更に、文献史料から抽出した情報を順次データベースに搭載する。

[平成30年度]

平成26～29年度の成果を踏まえ、必要な補充調査を実施するとともに、研究成果をまとめて、近代以前の地震史料に関して総合的に検索できるデータベースを構築する。構築されたデータベースを学界や社会に向けて公開し、データベース活用の研究集会を開催する。

(8)平成28年度の成果の概要:

本年度は昨年度に引き続き、既刊地震史料集に記載されている史料について、XMLデータ化のためのタグ付け及びXMLデータ化作業を継続して実施した。なお、当初の計画では網文・出典史料のみのデータベース化としたが、利便性を勘案して平成26年度より史料全文のデータベース化に計画を変更している。そのため史料のデータ化の際に、史料的に信頼できる原典に遡って間違いの修正や省略部分の補足を行う校訂作業を実施している。既刊地震史料集全33冊(合計約26,800頁)のうち、データベース化の作業に着手しているのは23.5%であり、本年度は史料本文の校訂作業を集中的に実施した。加えて、本研究でXMLデータ化した地震関連史料について、当時の地名を示す部分に位置情報(緯度・経度)を付与し、試作版地震関連史料データベースに基づく検索結果について、国土地理院の地図上に表示するシステムの試作版を構築した。

また、昨年度に引き続き、東海地方にあって長期間にわたる日記が残存する三河国田原藩(愛知県田原市)の「田原藩日記」の調査・撮影を実施した。本年度は特に、1854年安政東海地震とその津波被害に関する史料記述について調査・分析を行った。

さらに、本年度開催された「東京大学史料編纂所第37回史料展覧会」において地震史料のコーナーを設け、安政東海地震などに関する新史料を展示して、展示図録『史料を後世に伝える営み』に解説を掲載した。

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

佐藤孝之, 2016, イェール大学パイネキ図書館所蔵の地震史料について - 安政江戸地震「なる記」を中心に -, イェール大学所蔵日本関連資料 研究と目録, 勉誠出版, 141-159.

佐藤孝之, 2016, 安政大地震の「地震ゆり状」をめぐって, 近世史叢, 8, 65-73.

(10)平成29年度実施計画の概要:

既刊地震史料集に記載されている史料について、タグ付け作業、XMLデータ化作業、校訂作業を継続する。その際に、地震やその被害に関する空間情報の抽出を行い、XMLデータに適宜位置情報を付与する。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、新出史料についてもデータ化を実施する。さらに、校訂作業済みの史料について順次データベースに搭載し、そのデータベースに基づいた試作版地図表示システムの改良を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学史料編纂所 佐藤孝之・他 5 名

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 佐竹健治・西山昭仁

京都大学地域研究統合情報センター 原正一郎

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学史料編纂所

電話 : 03-5841-5997

e-mail :

URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 佐藤孝之

所属 : 東京大学史料編纂所

(1) 実施機関名：

新潟大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

日本海沿岸地域を中心とした地震・火山噴火災害関連史料の収集と分析

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

イ. 考古データの収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている歴史資料を調査し，日本海沿岸を中心とした地震・火山噴火に関連する前近代の史料を収集して翻刻を行う。重要な史料については，理系の研究者等にも理解しやすいように丁寧な校訂者注を付ける。収集・翻刻した新たな地震・火山噴火災害関連史料については，地震別に整理し，それをさらに藩領等地域別に分類し，活用しやすいように編集し，データベースを構築する。このデータベースを活用し，歴史時代における日本海沿岸地域の地震活動について，地形等の地域の特徴を分析した上で，近代的な観測データとの統合を目指す。日本海沿岸の地震関連の考古データも収集し，分析・検討の材料とする。災害絵図については，絵図に記された文字を読み込みトレーズ図に文字情報も組み込み，データベースに収める。また，既刊地震・火山噴火災害関連史料集所収史料のうち，総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載され，家屋倒壊率・即死者率が導き出すことができ，近代的な観測データとの比較・検討が可能な良質の史料については，原本調査と校訂作業を行い信頼できる史料を作成し，地震別・地域別に分類してデータベースを構築する。さらに，このデータベースに収められた史料に記載された村の総家数，倒壊家屋数・即死者数を詳細に分

析・検討して、地域別の被害表等を作成する。家屋倒壊率・即死者率は地形によって異なるので、被害率表を作成する際には地形の検討も行う。この検討により、前近代の史料により震源域を特定する方法を確立する。また、データベースに収められた史料から従来明確にされてこなかった「半潰」とはいかなる被害状況を示しているのかを明らかにする等の検討を行うことを通じて、現在の前近代の震度を出す方法を再検討し、あらたな震度を算出する方法を確立する。津波については到達点を史料から導き出し、また、土砂災害については、即死者率から被害地点を特定する方法を構築し、防災・減災に貢献したい。データベースにおさめられた史料、被害絵図の中からさらに防災教育に役立てられるものを選び出し、現代語訳やわかりやすい図に直す工夫も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成26年度においては、各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている歴史資料の調査を行い、地震・火山噴火に関連する前近代の史料を収集・翻刻し、地震別・地域別に整理しデータベースを構築する。また、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料について原本調査と校訂作業を実施し、地震別・地域別に整理してデータベースを構築する。

平成27・28・29年度においては、地震・火山噴火などに関する新たな歴史資料の調査・収集・翻刻及び、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の校訂作業を継続して実施し、成果のデータベース化を推進する。平成27・28・29年度は、歴史学・考古学共同の研究集会を開催し、データの共有化を計り、活用の方策を検討する。

平成30年度においては、地震・火山噴火などに関する新たな歴史資料の調査・収集・翻刻及び既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の校訂作業を継続して実施し、成果のデータベース化を推進する。さらに、データベースに収められた史料の村の総家数、倒壊家屋数・即死者数を詳細に分析・検討して、地域別の被害率表等を作成する。

(8) 平成28年度の成果の概要：

平成28年の主な成果は以下のとおりである。

1. 各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている歴史資料の調査と、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の原本調査と校訂作業

(1) 各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている歴史資料の調査と、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の原本調査と校訂作業

栃木県立歴史文書館、埼玉県立文書館、国立公文書館、国文学研究資料館、横浜開港資料館、名古屋市蓬左文庫、新発田市歴史図書館準備室、京都市歴史資料館、熊本市立図書館の原本調査と校訂作業をおこなった。また、鳥取県立博物館、西尾市岩瀬文庫所蔵の原本写真の収集を行なった。

(2) 1828年三条地震における新発田藩の対応

まず、幕府への報告と手当の下付の必要が強く意識されていたことを指摘できる。三条地震に際しては、発生10日後の11月22日に幕府に概数の第一報がもたらされたが、とりまとめは難航し、江戸屋敷の判断で12月29日付の遅延届が出されたうえ、本届が提出されたのは翌年1月9日であった。一方、手当は数段にわたり下されたが、地震直後に当面の飢えを凌ぐために下された手当米と、後日家屋再建費用の名目で下された手当金との違いが厳密に意識されたこと等が注目される。なお文政11年は凶作であり、そのうえの地震で治安上の不安が大きく、藩上層の意識も当初から治安維持に傾いていたこと（実際大きな被害が出た中之嶋では翌年3月に騒動が勃発する）、支配錯綜状況の中で、周辺他領との関係が重要であったこと等、多くの論点を指摘することができる（原2016）。

(3) 善光寺大本願所蔵「江戸青山善光寺奥御用所日記」所収地震記事の検討

従来知られている江戸青山善光寺と善光寺地震（弘化四年（1847）三月二十四日）にかかる史料は「有所不為齋雑録」に収載された江戸青山善光寺にもたらされた被害報告（『増訂 大日本地震史料 第三巻』）のみであったが、本年度、善光寺大本願所蔵の「江戸青山善光寺奥御用所日記」の地震記事を検討する機会があたえられた。「江戸青山善光寺奥御用所日記」は、大本願歴代住職にあたる上人の

身辺の日常の記録で、本記録はそのうちの青山善光寺第九世誓円上人の記録である。以下はその検討結果の一部である。

(史料1)(弘化四年四月二日)

一、信州飛脚着、山極亦兵衛、蟻河喜兵衛太より御用状参ル

一、三月廿四日夜四ツ時信州大地震

御霊屋ゆりつぶし御焼失、御尊牌八残らず持出候よし、御殿・御宝蔵不残御焼失、名号堂も焼失、御家来須田昌作家内共、西河彦一家内とも死去、其外数多のもの死、中ノ数しれ不申よし、何分いまた相わかり不申候て申越ス

史料1には、山極亦兵衛、蟻河喜兵衛からの御用状の内容は、霊屋が揺り潰れて焼失したものの尊牌は残らず持ち出した。御殿・宝蔵は残らず焼失し、名号堂も焼失した。家来の須田昌作と家内、西河彦一と家内はともに死去した、とある。この内容は「有所不為齋雑録」収載の江戸青山善光寺宛被害報告と同じであり、史料1にある信州からの飛脚によってもたらされた御用状は「有所不為齋雑録」収載江戸青山善光寺宛被害報告である。

(史料2)(弘化四年五月二日)

一、越後高田瑞泉寺

いさ若様より御書御奉文参ル、三月廿四日夜、信州同様大地震、同廿九日又大ちしん、風雨らいもよ程強きよし、御堂八かなり二残り、御住居、御蔵八つふれ候よし、御替りは無との事申し参り候

史料2には、越後高田瑞泉寺から地震被害の書状がもたらされた、とある。三月二十四日は信州と同様に、越後高田でも大地震があった。その後、高田では二十九日にもまた大地震が起り、御堂はかなり残ったものの住居・蔵は潰れたという。この記事は越後高田城下の瑞泉寺の具体的被害を示す史料として重要である。

「江戸青山善光寺奥御用所日記」の地震記事を翻刻することをご許可いただいた善光寺大本願・鷹司誓玉氏・鷹司誓榮氏に感謝申し上げます。また、同史料の検討の機会を整えていただいた新潟大学災害・復興科学研究所福岡浩所長に感謝致します。

(4) 1707年宝永七年閏八月十一日伯耆を中心とした地震と1708年宝永八年二月一日美作に被害を与えた地震に関する既刊地震史料の再検討と新たな史料の収集

上記地震に関し、今年度は既刊地震史料の再検討と新たな史料の収集を行い確実な史料からわかる被害地域と家屋倒壊数と死亡者数を明らかにした。

1707年宝永七年閏八月十一日の地震については、鳥取県立博物館所蔵鳥取藩国元家老日記(表題「控帳」、以下鳥取藩国元家老日記と記す)と「鸚鵡籠中記」所収の被害報告が重要である。「鸚鵡籠中記」には尾張藩が入手した鳥取藩の幕府への被害報告が収められている。鳥取藩国元家老日記宝永七年九月四日条には、「去月十一日未之下刻地震、西郡之内河村郡、久米郡、八橋郡、夥敷地震、死人、潰家、田地等々大分損シ候付、委細之書付差越、右之段於江戸御届之候」とあり、伯耆国河村郡(鳥取県湯梨浜町・倉吉市)、久米郡(倉吉市と北栄町の一部)、八橋郡(鳥取県琴浦町・北栄町の一部・大山町の一部)が死者・潰家を出す被害を受けたことがわかる。鳥取藩の幕府への被害報告「未刻伯耆国地震損亡之覚」には、「死人 七十五人、潰家 千九十二軒」と報告されている。

約半年後の1708年宝永八年二月一日の地震は伯耆国河村郡、久米郡の南部に隣接する美作国大庭郡・真島郡(現在の岡山県真庭市)に大きな被害を与えた。「津山藩日記」によると、「作州大庭郡・真庭郡」の被害家屋数は259軒で、そのうち「百拾八軒 潰家、百四十一軒 半潰」であったことがわかる。死亡者の記載はない。なお、津山藩の史料の収集については、片桐昭彦氏(東京大学地震研究所)・西山昭仁氏(東京大学地震研究所)のご協力をいただいた。

2 家屋倒壊率の検討

1855年安政江戸地震における武蔵国幸手領・川崎領の家屋被害を対象として、従来の家屋倒壊率を導き出す方法の再検討を行ない、また家屋倒壊率を明らかにした。得られた結果は次の5点である。a 幸手領の被害報告書である「安政二年十月大地震二付潰家其外取調書上帳」には、潰家の軒数とともに、「人家・土蔵・物置等潰家同様」の棟数の記載があるが、その内容は小屋・土蔵も含まれること、

半潰だけではなく大破も含まれること、同一人物所有の土蔵・小屋・居宅の被害数が棟数として記載されていることを明らかにした。b 幸手領「安政二年十月大地震二付潰家其外取調書上帳」記載の「人家・土蔵・物置等潰家同様」の棟数は、家屋倒壊率を導き出す被害数にはならないことを明確にした。c 幸手領の家屋倒壊率は、皆潰軒数を村の家数で除して導き出すことによって求められることを明らかにした。d 幸手領の家屋倒壊率（家屋全壊率）は 0.3 パーセントである。e 川崎領の家屋倒壊率（家屋全壊率）は 1 パーセントである。

川崎領については、村ごとの半潰軒数が明確であるが、半潰が皆潰（全壊）に対してどれほどの割合の倒壊なのかが明確にできないこと、さらに同じ地震の幸手領等他地域との比較検討のためには川崎領についても家屋全壊率を家屋倒壊率とすべきであると考ええる。

以上は家屋倒壊率の研究であるが、一軒当たり死亡者数をみても、川崎領の場合、総家数 1726 人のうち死亡者は 1 人であり、きわめて少ない。一軒当たり死亡者数から考えても安政江戸地震の中心部ではないことは明白である。

なお、上記の要旨と、使用した主な史料は矢田 2016 に掲載しているので参照されたい。

3 地形・地質調査

(1) 1964 年新潟地震津波到達点の測量調査

1964 年新潟地震の佐渡両津における被害範囲については、堀健彦・新潟大学人文学部地理学研究室（2016）で、a 津波は砂碓の頂上を越えることはほとんど無く、越えたのは舗装された道路伝いであった。夷地区の場合、砂碓の高いところを通る本町通に間口をもち、裏通りである海岸通の間に細長い短冊形地割が卓越しているが、津波はその短冊形地割の途中で止まることになった。b 津波は、夷地区、湊地区ともに人工的海岸線から侵入した可能性が高い。c 夷地区と湊地区の間の水路は津波が強く流れ込み、水路沿いに被害が発生したが、引き波でも加茂湖沿岸地域の一部が損壊したことを明らかにした。この知見をふまえて、2016 年 2 月および 7 月、佐渡市両津夷地区の GPS 測量調査を行った。

(2) 鳴門南断層調査

鳴門南断層は、高島を含む撫養塩方十二ヶ村の南部付近にまで伸びており、当地は断層の隆起側に立地している。また、本研究における地形・地質調査の結果および既存の活断層研究の結果などから、同断層の最新の活動時期は 16 世紀末の運動型地震時に相当し、断層部における上下変位量は 0.5～1.0 m 以上と考えられた。この変位は、干潟堆積層にも及んでおり、撫養地区では干潟が隆起したことが示唆される。以上の結果は、1596 年に地震性の隆起が生じ、塩田開発の契機となったとする「鳴門市山田喜昭所蔵文書」の内容を支持しており、文書の信ぴょう性は高いと判断できる。本研究では、当地を対象とした既存の塩業史研究の文脈を自然科学的観点から補完した。瀬戸内地域で醸成されていた入浜式塩田の技術は、1596 年の内陸直下型地震にともなう地盤の隆起によって新たな空間を得たことにより、急速に拡大した。地震については、負の側面である「災害」が強調されがちであるが、16 世紀末における撫養地区の事例からは、新たな生業の場を人々に提供するという面もあるということを指摘できる。詳細は小野映介ほか 2016 を参照されたい。

4 日本海沿岸地震関連考古データの収集

文政 11 年（1828）三条地震の考古学・歴史学的研究 本研究グループでは、文政 11 年三条地震に関わる歴史資料の収集を行っている。2015 年度の調査では、三条地震による死者の墓標を、新潟県見附市田井町福順寺で 1 基発見した。今年度は、震源域と想定されている樺沢村ほか 6ヶ村の墓地悉皆調査を実施し、新たに 3 箇所 4 基の墓標を発見した。発見地は、a 見附市名木野町福昌寺、b 見附市神保町慈眼寺、c 見附市太田町東福寺（2 基）である。次年度以降、これらを採拓するなどして資料化する予定である。

5 熊本地震に関する歴史資料の収集・研究・調査・史料翻刻

熊本地震に関しては、現時点では 1625 年と 1889 年の熊本地域に被害を与えた歴史資料の収集・研究・調査・史料翻刻を行い、成果を出している。（1889 年熊本地震史料については省略）

(1) 1625 年（寛永二）熊本地震に関する資料の収集・研究・調査・史料翻刻

同時代の地震史料の収集・研究を行っている。加藤与左衛門ほか 3 名宛 8 月 24 日付水野忠吉書状は、

地震についての礼状に関する文書であり、『熊本県史料 中世編 第五』に所収されている史料であるが、年号が特定されず、いつの地震に関する史料が知られていなかった。今回本文書を検討し、文書に見える「中納言」は紀州藩主徳川頼宣であり、頼宣の妻は加藤清正の女であったこと、また差出人の水野淡路守忠吉は紀州藩の付家老であることから、本文書の発給年は寛永2年であり、1625年(寛永2)熊本地震に関する文書であることを明らかにした。

(2) 熊本城下の地震痕跡の考古学的検討

以下の説明は、齋藤友里恵 2016 によっている。A 熊本市中央区古町遺跡は、天正 16 年(1588)以降に加藤清正が現在の熊本駅周辺から移転させた近世の城下町の一部である(原田ほか 2004)。古町遺跡の遺構の年代を出土遺物からみると、a. 16 世紀末~17 世紀前葉、b. 17 世紀中葉~後葉、c. 17 世紀後半~18 世紀以降の 3 つのグループに分けられる。注目されるのは、a. 17 世紀前葉と b. 中葉の間で連続性が必ず途切れている点で、b グループには a グループの年代の遺物が含まれない。B また、a グループの 342 号遺構では、範州窯系、景德鎮系の日用品ではない優品の染付が投棄されていた。桃崎祐輔氏の御教示によると、これらの陶磁器の一部には火を受けた痕跡が観察できるという。以上、熊本城下では 17 世紀前葉と中葉の間に断絶がみられ、かつ、優品を投棄せざるを得ない状況が発生していた。C さらに、熊本城飯田丸でも、17 世紀中葉を境に遺物が激減する。この現象について報告書は、「西櫓御門が閉鎖され、蔵や櫓を利用した収蔵機能中心のくるわに変化したことの反映であろう」と考察するが(鶴嶋ほか 2014)「収蔵機能中心のくるわに変化した」ならば、むしろ収蔵した遺物が出土しなければならず、この理解は適切でない。

明らかにしたのは以下の点である。A 古町遺跡では、17 世紀前葉と中葉の間で遺構の連続性が必ず途切れる、B 17 世紀前葉を下限とする遺構に、被熱し廃棄されたと思われる遺物が含まれる。そして C 熊本城飯田丸では 17 世紀中葉以降利用された形跡がない。低地の古町遺跡と高台上の熊本城で同時に変化が起きていること、および時期の一致から、これらの変化は寛永期の大規模地震に起因する一連の現象ととらえられる。

[引用文献]

小野映介・佐藤善輝・矢田俊文・海津 颯, 徳島県撫養地区における塩田開発と 1596 年の地震との関連性. 歴史地理学 58-3, 2016, 24-34

齋藤友里恵, 2016, 1625 年寛永熊本地震に関する考古学的痕跡抽出の試み, 2016 年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 8-9 頁

鶴嶋俊彦ほか, 2014, 熊本城発掘調査報告書 1 飯田丸の調査, 熊本市熊本城調査センター

原 直史, 2016, 藩領における災害情報の収集について, 2016 年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 12-14 頁

原田範昭ほか, 2004, 古町遺跡?, 熊本市教育委員会

堀健彦・新潟大学人文学部地理学研究室, 2016, 1964 年新潟地震による佐渡両津における津波被害範囲について, 越後佐渡文化交流史研究 16, 1-6。

矢田俊文, 2016, 1855 年安政江戸地震における家屋倒壊率の再検討 武蔵国幸手領・川崎領, 2016 年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 19-21 頁

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

矢田俊文, 2016, 一八五八年飛越地震の史料と家屋倒壊率 飛騨国を事例として, 災害・復興と資料, 7, 1-30。

原 直史, 2016, 文政 11 年越後三条地震からみる広域災害情報の集積, 災害・復興と資料, 8, 1-8。

齋藤瑞穂・齋藤友里恵・矢田俊文・坂上和弘・米田恭子・パレオ・ラボ AMS 年代測定グループ, 2016, 新潟県見附市田井町福順寺試掘調査報告 文政 11 年(1828)三条地震震実態復原のための考古学・歴史学的研究, 災害・復興と資料, 8, 横書 48 - 72, 縦書 37-48。

小野映介・佐藤善輝・矢田俊文・海津 颯, 徳島県撫養地区における塩田開発と 1596 年の地震との関連性. 歴史地理学 58-3, 2016, 24-34。

堀健彦・新潟大学人文学部地理学研究室、2016、1964年新潟地震による佐渡両津における津波被害範囲について、越後佐渡文化交流史研究 16、1-6。

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 29 年度は、日本海沿岸地域を中心に、地震・火山噴火などに関する新たな歴史資料の調査・収集・翻刻及び、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の校訂作業を実施し、成果のデータベース化を推進する。秋には歴史学・地理学・考古学共同の研究集会を開催し、データの共有化を計り、活用の方策を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

新潟大学災害・復興科学研究所 矢田俊文・原直史・中村元・小野映介

新潟大学人文学部 堀健彦・齋藤瑞穂

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：新潟大学災害・復興科学研究所

電話：025-262-7051

e-mail：

URL：<http://www.nhdr.niigata-u.ac.jp>

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢田俊文

所属：新潟大学災害・復興科学研究所

(1) 実施機関名：

新潟大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

過去の災害事例に基づく減災科学に係る研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

新潟県において、過去に経験した焼山火山災害、新潟地震、中越地震、中越沖地震等を契機とし進めてきた「災害メカニズムの調査研究」に基づき、地域安全の確保を目的とした火山・地震災害の事例研究を実施する。研究成果を事例とし、地震・火山噴火に係る知見の発信技術について開発を実施する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

焼山火山災害、新潟地震、中越地震、中越沖地震等評価・検証し、今後想定される同様の地域における地震災害における多くの国民の財産、豊かな暮らしを守る機能の保全・維持を目指すために、災害事例の研究を実施する。研究成果を事例とし、地震・火山噴火に係る知見の発信技術について開発を実施する

平成 26 年度：新潟地震 50 周年、焼山火山災害 40 周年、新潟中越地震 10 周年を迎える年を契機として、火山・地震災害の被害やその後の復旧状況を評価・検証する。地震・火山噴火に係る知見の発信技術についての調査を実施する。

平成 27 年度：引き続き過去の災害の状況を評価・検証する。地震・火山噴火に係る知見の発信技術についての検討を実施する。

平成 28 年度～平成 29 年度：過去の災害事例に基づく災害発生機構を精査する。災害事例の研究を実施する。研究成果を事例とし、地震・火山噴火に係る知見の発信技術プロトタイプの検証を実施する。

平成 30 年度：さらなる研究の検証、研究のとりまとめと発信を実施する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

1. はじめに

災害の研究分野では、理学・工学を中心として発展を遂げてきたが、近年では社会科学分野も融合し、学際的な分野として進化を続けている。社会環境・技術の変化や地震災害の発生に伴い、研究内

容にトレンドが現れることが想定される。本研究では、地震・火山噴火に係る知見の発信技術プロトタイプ の検討として、研究成果として社会発信されている論文および研究発表を対象とし、当該研究分野のトレンド変化を把握することを目指す。なかでも、本稿では地震学会において発表された10年分の研究題目を事例として、形態素解析を通じた名詞抽出ならびに出現実態の統計分析を行ない、地震学研究の使用単語に基づく分類と、それらの関係性を客観的に提示する。

本研究では、十年を1つの区切りとして、その間における研究内容のトレンド変化を把握することで、上記の課題に資すると考えた。具体的には、学会に対して研究成果として社会発信している論文および研究発表を対象とし、テキストマイニングを行うことで、研究内容のトレンド変化を追求する。なかでも、本稿では地震学会において発表された10年分の研究題目を事例として、形態素解析 [1] を通じた名詞抽出ならびに出現実態の統計分析を行い、地震学研究の使用単語に基づく分類を行う。また、同一研究題目内の共起性から単語同士の距離を算出することでさらなる分類を行う。最終的に、地震学研究の専門家へのフィードバックを行ない、本研究成果の妥当性を検証する。

2. 研究手法

地震学会のトレンドを探るうえでは、地震学会秋季大会に提出された研究題目が、分析対象に有効であると考えた。分析の範囲は、地震学会ホームページ [2] からダウンロードできない2008年度を除く、2003年から2014年までの掲載論文の発行年および論文タイトルを収集データとして採用した。

前節において収集したデータに対して、テキストマイニングを実施することで、本研究の対象となる地震学研究における研究題目から、それらが示す研究内容の変遷を把握することとする。テキストマイニングを実施するにあたり、樋口 (2011) が開発・提供する KH Coder [3] を使用した。なぜなら、樋口らは量的な分析の結果からも内容分析の考え方を可能な限り取り入れることを目指しており、テキストデータのような質的データを計量的に分析することを提案し、探索的に分析する手法として開発されているため、本研究の目的に合致すると考えた。また、樋口が KH Coder の思想設計について述べている「テキスト型データの計量的分析；2つのアプローチの峻別と統合」は数理社会学会の機関誌の原著論文として採用されている [4]。

そこで、テキストマイニングを行うために、2003年から2014年までの地震学会秋季大会における研究題目を収集する、KH Coder を用いて研究題目ごとに形態素解析を実施し、各研究題目を構成する名詞を抽出する、抽出された名詞データセットに対してクラスター分析を実施し、クラスター構成を把握する、クラスター構成が確認された場合、KH Coder を用いて年度別に共起ネットワークを構築する、年度ごとの共起ネットワークを比較・考察することで、研究トレンドの変遷を把握する、5つの分析手順を実施することとした。とくに、名詞の出現回数が少ないものにおいては、共起ネットワークを構築できないと考え、本研究では、11年間のデータを分析対象とすることから、11回以上出現する頻出語を用いたクラスター分析を行う。クラスター別の共起ネットワークを作成した。クラスター分析とは、異なる性質のものが混ざりあっている集団 (対象) の中から互いに似たものを集めて集落 (クラスター) を作り、対象を分類しようという方法 [5] である。分析の結果から、地震学の研究傾向および今後の学問研究の方向性について考察を実施した。

3. 手法を用いた傾向導出

掲載研究題目を KH Coder 内に実装されている茶筌を用いて形態素に分解した結果、53,587個の名詞が抽出され、異なり語数は5,512件となった。これに基づき、KH Coder の標準機能である上位150の抽出語リストを作成し、どのような名詞が頻出しているかを把握した。地震学研究の一般用語と想定される「地震」「地殻」「強震動」「断層」という研究対象や「予測」「観測」という手法にかかる名詞が頻出語として確認された (表1)。

ある単語を特定した際に、その単語がどのような使われ方をするかを知ることで、より具体的な研究内容の変遷を把握できると考える。単語間のつながりを表す「共起」に着目し、年度ごとに共起分析を実施し、共起ネットワークを作成した。図1は、最頻出単語である「地震」を中心に、11年間のテキストデータセットから生成された共起ネットワークである。各年度における「地震」を中心とした共起ネットワークを作成した (図2~7)。年度ごとに比較したところ、気象庁が名称を付与するよ

うな大規模な地震が発生した場合、発生年もしくは翌年に、その地震に関する事例研究が中心となっていた。2年が経過すると、その事例研究に関する名詞の共起性が低くなり、継続性がないことが明らかとなった。一方で、事例研究から得られた新たな研究課題を表す名詞は、継続的に用いられており、研究分野の拡張状況が、共起ネットワークの変遷から確認できた。とくに、2011年の東北地方太平洋沖地震の発生後には、それまでに共起性が低い「海溝」が、地震と共起性を有し、2014年まで継続されていることが確認された。これは、前述の事例研究を契機として、研究領域が拡張している状況を表している。

4. 地震学領域の専門家からのフィードバック

1) 災害発生後に事例研究が推進される傾向

専門家からは、たとえば兵庫県南部地震後の「活断層」「強震動」、東北地方太平洋沖地震後の「津波」に関する研究が盛んになっている状況を表していることは、地震学研究の実状と照らし合わせても妥当である、との評価を得た。この背景には、地震を契機に災害が引き起こされたことから、研究者も注目する一方で、興味深い観測データも収集され、研究が推進され、社会に公表される、という流れがあり、定性的に妥当であると結論づけられた。

2) キーワードの変遷からの研究テーマの変化把握

専門家からは、新しい観測データや現象、解析手法などが収集・発見・開発されれば、それを元とした研究が発生し、研究の流れに影響を与えるため、本研究で作成した共起ネットワークの変化から、一定の研究変遷を把握できるであろうとの評価を得た。具体例として、2013年の「干渉」が取り上げられ、「地震波干渉法」という解析手法が、近年において着目を浴びており、その状況が共起ネットワークの変化に現れている、との意見を得た。一方で、幅の小さい変化量では、共起ネットワークの構造に影響を与えないためか、新たなデータや手法に対しての「着目を浴び始めた」という起点は見えずらく、また研究者の多さにも依存することから、解析対象となるデータ量・対象範囲に留意が必要との指摘を受けた。

3) 名詞分割による分析精度検証の必要性の指摘

くわえて、本研究における形態素解析での名詞分割について不十分である点の指摘を受けた。前出の「上位150の頻出語」において「イン」「バージョン」の2つの名詞が列挙されていた。しかし、地震学研究では「インバージョン (inversion)」という1つの名詞として扱われている。そのため、本来用いられる1つの名詞が分割されることにより各分析結果に影響を及ぼす可能性について言及する必要がある。同様に、「宮城」「東北」「沖」「地方」と分割された名詞も、「宮城沖」「東北地方」であると想定される。この点については、専門分野に応じた連続名詞を1名詞とした辞書の構築が必要であると考える。しかしながら、事例の発生や新たな手法・技術等の開発により連続名詞を管理する辞書も変化するため、長期運用可能な辞書の構築手法についても検討が必要である。

4) 分析対象名詞の選定にかかる課題

専門家から「地震」「構造」のような一般的な用語の分析は、研究的視点での意義の高い変化は得られづらい、との指摘を受けた。使用頻度の低い専門的な名詞を対象とする方が、現在の研究の流行や次に実施すべき研究課題を表しやすく、その結果の意義も高いと推察される。研究専門家は、ある単語(名詞)の使用頻度のピークが何年ぐらいになっているのか、他の単語(名詞)とのつながりに時間変化があるのか、を知ることが、次の研究領域の開拓において活用できると考える。そのため、頻出語の分析から低頻度の名詞の分析へと切り替え、各年の分析を継続実施されれば、成果の有用性について期待できる、との指摘を受けた。

文献

- [1] ChaSen – 形態素解析器, <http://chasen-leg.acy.osdn.jp/>(2016年12月23日アクセス)
- [2] 過去の大会 日本地震学会, <http://www.zisin.or.jp/past/>(2016年12月9日アクセス)
- [3] 樋口耕一: KH Coder Index Page, <http://khc.sourceforge.net/>(2016年11月25日アクセス)
- [4] 樋口耕一: テキスト型データの計量的分析; 2つのアプローチの峻別と統合. 理論と方法, 19(1): 101 - 105 (2004),

[5] R とクラスター (1), <https://www1.doshish a.ac.jp/ mjin/R/28/28.html>, (2016 年 11 月 25 日アクセス)

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
阿部光樹(新潟大)・井ノ口宗成(静岡大)・加藤尚之・森田裕一(東大)・田村圭子(新潟大)・木村玲
欧(兵庫県立大)・中野敬介(新潟大), 形態素解析を用いた地震学研究の動向把握に資する研究
~ 地震学会 10 年間の研究題目を事例として ~, 信学技報, vol. 116, no. 422, ICTSSL2016-61, pp.
145-150, 2017 年 1 月.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

過去の災害事例に基づく災害発生機構を精査する。災害事例の研究を実施する。研究成果を事例とし、
地震・火山噴火に係る知見の発信技術プロトタイプの検証を実施する。特に平成 28 年に発生した熊本
地震を事例とし、さらに研究を拡充する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

新潟大学 危機管理本部危機管理室/災害・復興科学研究所(協力) 教授 田村圭子
他機関との共同研究の有無 : 有
東京大学地震研究所 教授 加藤 尚之
東京大学地震研究所 教授 森田 裕一
兵庫県立大学 環境人間学部 / 大学院環境人間学研究科 准教授 木村玲欧
静岡大学 情報学部 講師 井ノ口宗成

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 新潟大学危機管理室(総務部総務課)
電話 : 025-262-6022
e-mail : rmo@adm.niigata-u.ac.jp
URL :

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 田村 圭子
所属 : 新潟大学 危機管理本部危機管理室/災害・復興科学研究所(協力)

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
地震	3479	南海	149	堆積	81
年	953	検討	147	火山	80
構造	889	動	143	空	79
観測	781	海溝	140	狭み	78
沖	748	変形	140	スロー	76
深	714	次元	138	深い	76
断層	670	周波	138	南部	76
震度	626	対峙	134	アイ	75
地殻	548	北部	134	紀伊半島	74
推定	498	新潟	131	考慮	74
用いる	460	余震	131	付近	74
活動	448	噴火	130	向ける	72
速度	396	震害	129	被害	72
発生	390	時間	129	近隣	70
地方	387	イン	127	形状	70
東北	374	バージョン	126	比較	70
モデル	368	観測	126	イベント	69
変動	354	抽出	125	干渉	69
解析	346	関係	122	結果	69
太平洋	308	地震	121	現象	68
変化	304	調査	118	スベクトル	67
分布	303	強	115	西南	67
津波	292	システム	109	長崎	67
海底	273	特命	109	測定	66
プレート	268	地質	107	適用	66
日本	263	フィリピン	106	動的	66
データ	262	スラブ	104	北海道	66
地震	242	受ける	103	構築	65
歴史	235	巨大	101	防災	65
過程	228	マントル	100	様	64
月	228	空間	100	帯	63
応力	220	広帯域	99	精度	63
地震	220	手法	99	連続	63
地震動	213	関東	95	メカニズム	62
断層	213	変位	95	異	62
探査	208	影響	94	動乱	61
震害	201	研究	93	グリーン	60
破壊	188	内陸	93	効	60
予測	182	中越	92	深い	60
周期	181	沈心	91	葉	60
断層	180	伝達	91	伝送	58
震部	180	異常	90	沖の	58
特性	174	東海	88	水	58
評価	173	スリップ	88	層	57
シミュレーション	168	変力	84	破壊	56
基	163	震源	84	紀伊半島	56
海	161	活	83	応答	55
海	156	弾性	83	狭小	55
地下	153	伝達	82	度	55
断層	149	震度	82	変形	54

表1. 上位150の頻出語

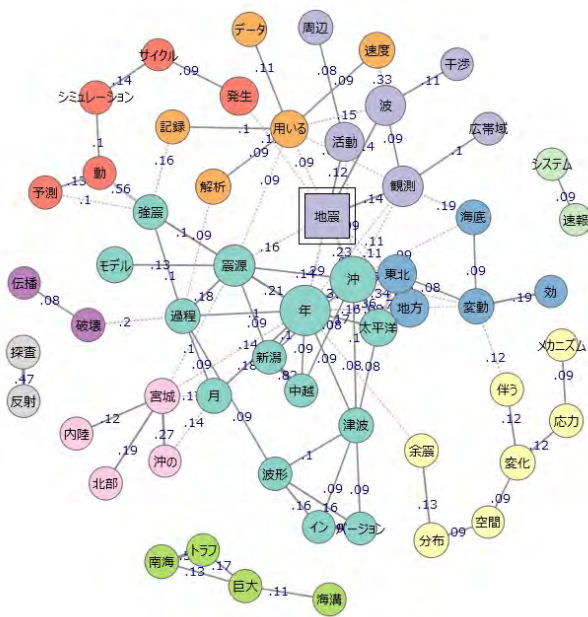


図1. 「地震」を中心とした研究の共起ネットワーク

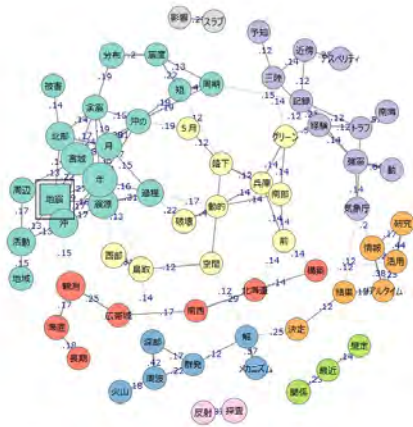


図2 「地震」を中心とした共起ネットワーク：2003年

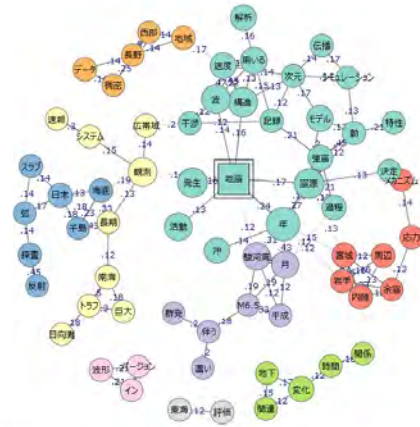


図5 「地震」を中心とした共起ネットワーク：2009年

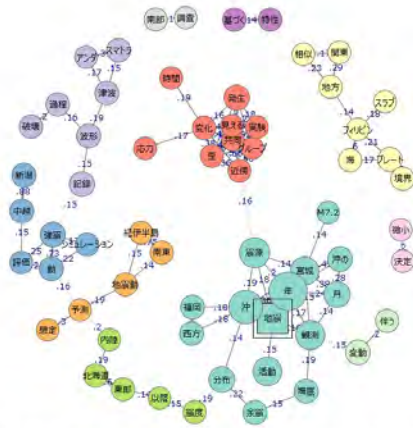


図3 「地震」を中心とした共起ネットワーク：2005年

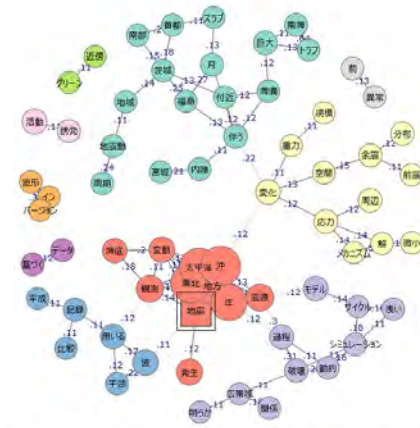


図6 「地震」を中心とした共起ネットワーク：2011年

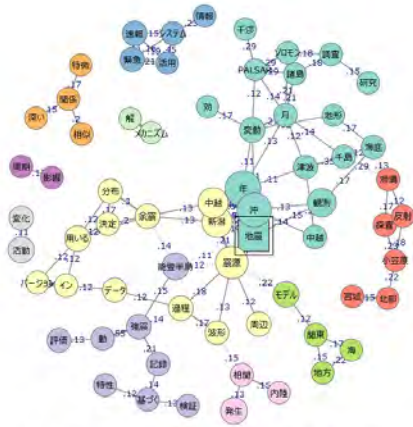


図4 「地震」を中心とした共起ネットワーク：2007年

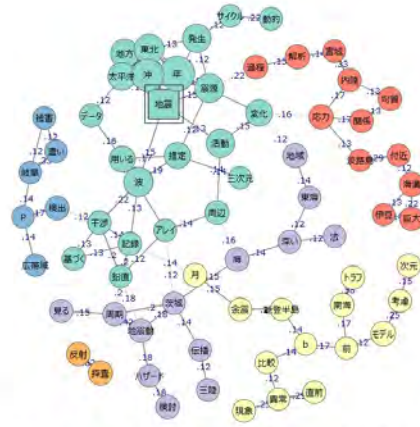


図7 「地震」を中心とした共起ネットワーク：2013年

図2～7. 「地震」を中心とした共起ネットワーク 2003～2013

(1) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

津波地震を励起する浅部プレート境界断層の実態解明と物性変動モニタリング

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

既存・新規の MCS 探査データおよび ODP/IODP 掘削データを用い、南海トラフで津波地震を励起する巨大分岐断層とデコルマの構造、摩擦特性、間隙水圧などの分布を、空間的に途切れることなく高精度で明らかにする。また、沈み込みインプット (subduction input: 沈み込む堆積物と海洋性地殻) は巨大分岐断層とデコルマの発達過程や間隙水圧変動に最も大きく影響するため、南海トラフに沈み込む直前の四国海盆堆積物と海洋性地殻の 3 次元広域変化を明らかにする。

巨大分岐断層やデコルマに沿った地震性滑りの将来挙動を予測する上で、断層の物性変動の長期モニタリングは極めて重要である。断層の間隙水圧異常が巨大分岐断層やデコルマに沿った地震発生・破壊エネルギーの伝播に重要な役割を果たすと考えられるため、断層面付近の音響インピーダンスのコントラストを示す反射係数に着目し、反射係数から間隙水圧を推定する手法を新たに開発する。さらに、time-lapse MCS 調査 (繰り返し観測により時間変化を捉える調査) により、反射係数 (間隙水圧)

変動のモニタリング手法を開発する。巨大分岐断層の海底付近堆積物と海水からヘリウム同位体比 ($3\text{He}/4\text{He}$) を定期的に測定し、巨大分岐断層に沿った間隙水圧変動をモニタリングする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

巨大分岐断層とデコルマを対象とする新規の 2 次元高分解能 MCS データを取得するため、東京大学大気海洋研究所の「可搬式反射法地震探査システム」を搭載した学術研究船「新青丸」を利用する。4 か年間、巨大分岐断層の海底堆積物と直上海水からヘリウムを観測する。

【平成 27 年度】においては、(1) 断層面付近の音響インピーダンスのコントラストを示す反射係数に着目し、反射係数から間隙水圧を推定する手法の開発に着手する。(2) 既存の四国海盆 MCS データを用いた堆積層の岩相層序解析を行い、デコルマ相当層準をマッピングする。また、四国海盆の海洋性地殻最上部の 3 次元形状変化を求め、デコルマの発達過程において沈み込む海洋性地殻の影響を解明する。(3) 既存の四国海盆 MCS データと深海掘削データとの統合解析 (Seismic Inversion) を行い、堆積層の間隙率と間隙水圧を求め、デコルマ相当層準の剪断強度を明らかにする。

【平成 28 年度】においては、(1) 反射係数から間隙水圧を推定する手法を開発する。(2) 巨大分岐断層とデコルマの発達が顕著な熊野沖南海トラフに直交する測線上で稠密 MCS データを取得し、巨大分岐断層とデコルマの反射係数を求める。(3) 既存・新規の MCS データと深海掘削データを用いた構造解釈と物性解析を行い、巨大分岐断層とデコルマの実態 (構造と物性) を明らかにする。(4) 海底地形データと MCS 断面図を用い、南海トラフ付加体の傾斜角度とデコルマの傾斜角度を求めることで、Coulomb Wedge Theory に基づくデコルマの摩擦係数を推定する。

【平成 29 年度】においては、(1) 既存 MCS データが十分でない四国沖南海トラフに直交する測線上で、MCS データを取得する。また、南海トラフ隣接の四国海盆で沈み込みインプットを対象に、トラフに平行する測線上で MCS データを取得する。(2) MCS データと深海掘削データを用いた構造解釈と物性解析を行い、巨大分岐断層とデコルマの実態 (構造と物性) を明らかにする。(3) 海底地形データと MCS 断面図を用い、南海トラフ付加体の傾斜角度とデコルマの傾斜角度を求めることで、Coulomb Wedge Theory に基づくデコルマの摩擦係数を推定する。(4) 四国海盆 MCS データと深海掘削データとの統合解析 (Seismic Inversion) を行い、堆積層の間隙率と間隙水圧を求め、デコルマ相当層準の剪断強度を明らかにする。

【平成 30 年度】においては、(1) 熊野沖南海トラフの稠密 MCS 調査範囲で、平成 28 年度に続く 2 回目の MCS 調査 (time lapse) を行い、巨大分岐断層とデコルマの反射係数を求めることで、間隙水圧の時空間変動を求める。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

熊野沖南海トラフにおいて浅部プレート境界断層 (デコルマ) の発達過程に影響する沈み込む堆積物の役割を解明するため、平成 27 年度に四国海盆 MCS データと深海掘削データとの統合解析を行い、沈み込む堆積層の 3 次元間隙率を求めた。平成 28 年度には、この 3 次元間隙率データを用い、沈み込む堆積層の間隙水圧を推定した。間隙水圧の推定には、Reference サイトと Target サイト間の間隙率を比較する手法 (例 : Screatton et al., 2002) を用いた。本研究では、四国海盆の IODP 掘削サイト C0011 を Reference サイトとして設定し、静水圧状態である仮定した。サイト C0011 での堆積層は大きく 3 つの地層 (上部四国海盆堆積層、中部四国海盆堆積層、下部四国海盆堆積層) に区分できる。サイト C0011 で認められる間隙率データの特徴から、今回は中部・下部四国海盆堆積層を対象に間隙水圧を推定する。

Reference サイト C0011 での間隙率と南海トラフ軸サイト Xline 1600 での間隙率を比較した結果、サイト Xline 1600 の中部・下部四国海盆堆積層は高間隙水圧状態であることが判明した。特に、中部四国海盆堆積層での高間隙水圧が明瞭であるため、本研究では、南海トラフ軸サイト Xline 1400 と 1600 において中部四国海盆堆積層を対象に過剰間隙水圧比 ($\ast = [\text{pore pressure} - \text{hydrostatic pressure}] / [\text{lithostatic pressure} - \text{hydrostatic pressure}]$) を求めた。サイト Xline 1400 で、 \ast は上部の 0.23 から下部の 0.45 へ

増加する。これは、中部四国海盆堆積層中の脱水がトラフ充填堆積作用による急激な loading に歩調が合わせられないほど中部四国海盆堆積層の透水性が低いためと考えられる。サイト Xline 1600 で、* は上部の 0.53 から下部の 0.82 へ増加する。特に、10.3 MPa の高間隙水圧 (* = 0.82) は、中部四国海盆堆積層中の脱水がトラフ充填堆積作用による急激な loading や blind thrust 発達による堆積層の厚化に歩調が合わせられないほど中部四国海盆堆積層の透水性が低いためと考えられる。サイト Xline 1600 で最も注目すべきところは、中部四国海盆堆積層で過剰間隙水圧が最大となり (即ち、有効応力が最少) この層準で断層挙動に必要な剪断応力が最少となることである。従って、将来の浅部プレート境界断層 (デコルマ) は中部四国海盆堆積層で発達すると推定される。

東北沖日本海溝近傍で巨大津波を励起する分岐断層の実態と流体挙動を解明するために、平成 28 年 11 月に学術研究船「新青丸」を用いた研究航海を実施した (図 1 の航跡・測点図参照)。東北地方太平洋沖地震の約 1 か月後に宮城沖震源域近くの海底で採取した海水中にマントル起源のヘリウム同位体異常が発見され、巨大地震に伴ってマントルからの高圧流体がプレート境界断層を通過して海溝域近傍に到達し、プレート境界断層から上方へ発達する分岐断層に沿って海底まで移動したことが示唆された。しかしながら、流体移動の通路となり、更に、津波発生の原因とも考えられる、海溝域近傍の分岐断層の実態は未だ解明されていない。本研究航海では、分岐断層の高分解能構造や空間分布を明らかにすること、分岐断層に沿った流体および揮発性元素の挙動を解明することを目的とした。主な観測項目は、(1) サブボトムプロファイラーによる海底下活断層の地層探査、(2) マルチビーム音響測深機による海底地形調査、(3) CTD 採水・マルチプルコアラー採泥による海底下流体挙動調査、(4) 船上三成分磁力計及び船上重力計による磁力・重力観測、である。これらの観測データは、現在、解析中である。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Palazzin, G., Raimbourg, H., Famin, V., Jolivet, L., Kusaba, Y., Yamaguchi, A., 2016, Deformation processes at the down-dip limit of the seismogenic zone: the example of Shimanto accretionary complex. *Tectonophysics*, 687, 28-43. doi: 10.1016/j.tecto.2016.08.013
- Yamaguchi, A., Hina, S., Hamada, Y., Kameda, J., Hamahashi, M., Kuwatani, T., Shimizu, M., Kimura, G., 2016, Source and sink of fluid in pelagic siliceous sediments along a cold subduction plate boundary. *Tectonophysics*, 686, 146-157. doi: 10.1016/j.tecto.2016.07.030
- Yamaguchi, A., Fukuchi, R., Hamahashi, M., Shimizu, M., 2016, UAV-based mesoscale lithologic distribution map of a large shear zone in Jurassic accretionary complex (Ohwaki outcrop in the Mino Belt, central Japan). *Island Arc*, 25, 436-438. doi: 10.1111/iar.12158
- Otsubo, M., Miyakawa, A., Kawasaki, R., Sato, K., Yamaguchi, A., Kimura, G., 2016, Variations in stress and driving pore fluid pressure ratio using vein orientations along megasplay faults - example from the Nobeoka Thrust, southwest Japan. *Island Arc*, 25, 421-432. doi: 10.1111/iar.12155
- 山口飛鳥, 2016, 日本海溝の陸上アナログとしてのジュラ紀付加体研究. 日本地質学会第 123 年学術大会, 日本大学, 2016 年 9 月.
- Yamaguchi, A., 2016, Roles of pelagic siliceous sediments in subduction plate boundary deformations. *Asia Oceania Geoscience Society*, Beijing, China.
- 芦 寿一郎・山口飛鳥・福地里菜・大出晃弘・奥津なつみ・田淵 優・池原 研, 日向沖南海トラフ前弧域の浅部活構造. 地球惑星科学連合大会, 5 月, 千葉
- 芦 寿一郎・山口飛鳥・福地里菜・大出晃弘・奥津なつみ・田淵 優・池原 研, 日向沖南海トラフ周辺の活構造の高解像地層探査. 日本地質学会, 9 月, 東京
- Jin-Oh Park (2016), Variation in Porosity of the Nankai Trough Incoming Sediments off the Kii Peninsula, Southwest Japan, Abstract SIT12-11 presented at 2016 Japan Geoscience Union Meeting, 22-26 May

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

南海トラフの浅部プレート境界断層(デコルマ)の発達過程に影響する沈み込みインプット(subduction input : 沈み込む堆積層と海洋性地殻)の実態(構造と物性)を明らかにする。南海トラフに平行する測線上の高分解能 MCS データ(全長約 550 km)と ODP/IODP 深海掘削データを用い、四国海盆堆積層の音響層序解析を行うとともに間隙率や間隙水圧を推定する。また、四国海盆堆積層と海洋性地殻を対象に MCS データを用いた spectral ratio 解析を行い、沈み込みインプットの減衰特性を調べる。海底地形データと MCS 断面図を用い、南海トラフ付加体の傾斜角度とデコルマの傾斜角度を求めらることで、Coulomb Wedge Theory に基づくデコルマの摩擦係数を推定する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

朴進午、芦寿一郎、山口飛鳥、佐野有司、高畑直人
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学大気海洋研究所国際・研究推進チーム
電話 : 04-7136-6009
e-mail : iarp@ori.u-tokyo.ac.jp
URL : <http://www.ori.u-tokyo.ac.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 朴進午
所属 : 東京大学大気海洋研究所

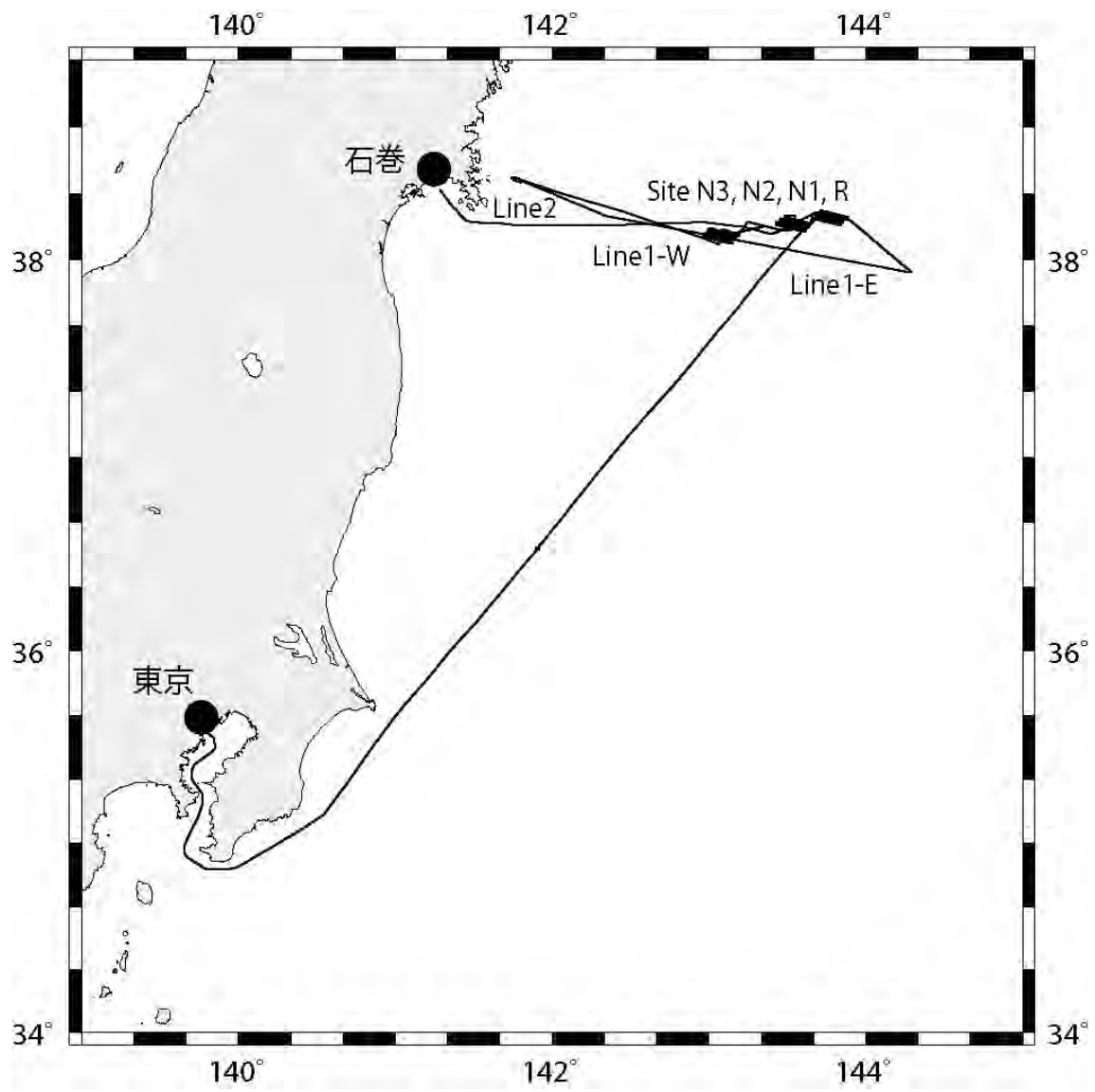


図1 . 学術研究船「新青丸」研究航海 (KS-16-17) の航跡・測点図。

(1) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地球物理・化学的探査による海底火山および海底熱水活動の調査

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

4. 研究を推進するための体制の整備

(3) 関連研究分野との連携の強化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本近海の鹿児島湾から南西諸島海域の島弧系及び背弧海盆において、継続的に海底火山や海底熱水活動を調査し、火山活動度の変化や新たな熱水活動域を明らかにする。また、海底地形の高まりが火山かどうかを物理的・化学的探査により判別する。具体的には、ヘリウム - 3、二酸化炭素、メタンの濃度及び同位体組成の詳細分布図を作成し、火山活動が活発な海域の把握や活動度の経時変化把握に役立てるための一次情報を得る。活動を休止した火山においては、海底地形や岩石分析、磁気異常の物理探査が有効であり、熱水系の広がりやテクトニックセッティングを調査する。これらの調査を効率的に行なう方法を開発し、若手研究者を育成して、将来持続的に観測できる体制を整える。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

海底火山の活動や噴火の可能性を把握する事は船舶航行における防災に必要不可欠である。とりわけ鹿児島湾から南西諸島海域においては海底活火山と関連づけられる熱水活動が水深の浅い海域に多く見られ、それらが噴火した際に直上に船舶がいた場合には重大な被害の可能性も懸念される。海底地形のデータからある程度海底火山の場所を推定する事は可能かもしれないが、それが本当に火山であり、どの程度活動的なのかを判断する事は難しい。

そこで我々は火山性ガスの強力な指標となるヘリウム - 3 を中心とした、マグマ・熱水由来の成分 (pH、濁度、溶存炭素同位体、メタン、マンガンなど) の海水中の三次元分布とその時系列変化を明らかにし、その分布を詳細な海底地形と比較する事で、海底活火山の場所や活動度を把握する事を目的として調査を進める。マグマ由来成分の放出は活動的である証拠であり、その成分組成や放出量から火山の特性を把握する事が可能である。海水中での保存性が異なる元素を比較する事で活動的な放出源を特定し、成分増減の経時変化から活動度の変化を検出する事で噴火兆候の早期把握に役立てる。本課題では、特に鹿児島湾北部の若尊カルデラや薩摩硫黄島など南西諸島海域において、継続的に海底熱水活動を調査するとともに、未知の熱水活動の発見には音響測深器を用いて効率的な観測を目指す。また現場化学分析計 GAMOS (鉄やマンガンの分析) の係留による熱水の長期継続モニタリングも視野に入れ、その手法や装置の改良を検討する。さらに地球最大の火山が中央海嶺系であることから、日本の火山とはテクトニックセッティングが異なる中央海嶺系火山の物理的・化学的性質を理解することが、日本の火山の性質をより理解することにつながるであろう。そこで観測対象は日本近海だけでなく、中央海嶺系など他の海域の海底火山も対象とし、その性質の違いを調べることにより、日本の海底火山のより深い理解を目指す。

平成 27 年度については、奄美大島西方海域における熱水組成の把握を行う。また継続的に調査している海域である鹿児島湾、薩摩硫黄島周辺海域、小宝島周辺海域、奄美大島北方海域において、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。特に口之永良部島に近い薩摩硫黄島周辺海域で重点的に調査を行う。これら調査のために海洋研究開発機構新青丸のシップタイムを既に確保済みである。平成 28 年度以降については、新青丸の航海計画を申請し、観測空白域を埋めるとともに経時変化を把握する。航海以外の期間は、無人島を含む陸上火山の噴気や熱水の分析を行う。最終的に平成 31 年度までに、鹿児島湾から南西諸島にかけての ^3He 、二酸化炭素、メタンの濃度及び同位体組成の詳細分布図を作成し、火山活動が活発な海域の把握や活動度の経時変化把握に役立てるための一次情報を得る。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

平成 28 年度も新青丸の研究航海を申請していたが、残念ながら採択されず海底火山の調査は行えなかった。代わりにトカラ列島に位置する小宝島の陸上の調査を行った。陸上の地下水をポンプで汲み上げ、そこに溶存するヘリウムを分析した。これまでにトカラ列島で調査した結果をまとめ、Scientific Reports 誌に発表した。この調査では音響探査を用いて熱水噴出孔の位置を特定し、ピンポイントで海底熱水ブルームを採取することに成功した。ヘリウムが海底の火山活動を評価する指標となることを示した。

陸上火山の調査としては、箱根火山において 2ヶ所から継続的に噴気ガスを採取し火山の活動を評価した。採取した試料はヘリウムの他、ネオンやアルゴンの同位体、窒素の同位体も測定した。ヘリウムの同位体比は火山活動を評価するのに使える有用な指標である。マグマ活動が活発になるとマントル由来の物質が増えヘリウム同位体比は上がる傾向を示す。ヘリウム同位体比の経時変化を調べることで箱根火山の活動を調査した。また、御嶽山のこれまでの長期間にわたる観測結果をまとめ論文に発表した。ヘリウムの他にアルゴンや窒素、炭素の同位体を調べ、平成 26 年の噴火の前後で変化があったかどうかを調べた。

さらにヘリウム同位体比は地震活動を評価する上でも有用な指標である。平成 28 年度には熊本地震と鳥取地震の 2 つの大きな地震があり、それぞれの地域において地下水のヘリウム同位体比を調査した。特に熊本は阿蘇山がすぐ近くにあり、阿蘇山の火山活動を評価する上でも重要な調査となる。熊

本地震の調査結果をまとめ、地震の前後でヘリウムの同位体比が変化したこと、その変化量は地殻の歪み量に相関があることを明らかにし、Scientific Reports 誌に発表した。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Sano, Y., N. Takahata, T. Kagoshima, et al., 2016, Groundwater helium anomaly reflects strain change during the 2016 Kumamoto earthquake in Southwest Japan. Sci. Rep. 6, 37939; doi:10.1038/srep37939.
- Kagoshima, T., Y. Sano, N. Takahata, et al., 2016, Spatial and temporal variations of gas geochemistry at Mt. Ontake, Japan. J. Vol. Geotherm. Res., 325, 179-188.
- Kawagucci, S., N. Takahata, Y. Sano, et al., 2016, Fluid chemistry in the Solitaire and Dodo hydrothermal fields of the Central Indian Ridge. Geofluid, doi:10.1111/gfl.12201.
- Wen, H.-Y., Y. Sano, N. Takahata, T. Kagoshima, et al., 2016, Helium and methane sources and fluxes of shallow submarine hydrothermal plumes near the Tokara Islands, Southern Japan. Sci. Rep., 6, 34126; doi: 10.1038/srep34126.
- Ooki, M., T. Kagoshima, N. Takahata, Y. Sano, et al., 2016, Volatile element isotopes of submarine hydrothermal mineral deposits in the Western Pacific. Geochem. Geophys. Geosyst., 17, doi:10.1002/2016GC006360.
- Rouilleau, E., Y. Sano, N. Takahata, et al., 2016, New insight from noble gas and stable isotopes of geothermal/hydrothermal fluids at Caviahue-Copahue Volcanic Complex: Boiling steam separation and water-rock interaction at shallow depth. J. Vol. Geotherm. Res., 328, 70-83.
- Tardani, D., N. Takahata, Y. Sano, et al., 2016, Exploring the structural controls on helium, nitrogen and carbon isotope signatures in hydrothermal fluids along an intra-arc fault system. Geochim. Cosmochim. Acta, 184, 193-211.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

継続的に調査している鹿児島湾から南西諸島海域において、海水中のヘリウムやメタン、二酸化炭素を調査し、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。また無人島を含む陸上火山の噴気や熱水の分析を行い、それらの火山の活動度を評価する。並行して、鹿児島湾などこれまでの観測で得られた海水試料のヘリウムの分析を進め、海底火山活動の様子を探る。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学大気海洋研究所

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学大気海洋研究所国際・研究推進チーム

電話 : 04-7136-6009

e-mail : iar@aoi.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.aoi.u-tokyo.ac.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 佐野 有司

所属 : 東京大学大気海洋研究所

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山ガス観測による箱根山の熱水系構造解明と群発地震発生予測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

箱根山では平成 27 年の 5 月から群発地震が頻発し、同年 6 月末に、小規模な水蒸気噴火が発生した。この活動に伴い、火山ガスの化学組成や安定同位体比に大きな変動が観測された。平成 28 年度では、引き続き、毎月 1 回の頻度で、箱根山大涌谷地熱地帯の 2 地点において火山ガスを「国際的な標準方法」で採取し、研究室に持ち帰り、化学組成 (H₂O, CO₂, H₂S, SO₂, He, H₂O₂, N₂, Ar, CH₄) および安定同位体比 (D/H, 18O/16O) の測定を行う。これと平行し、検知管を用いた迅速法で、噴気の CO₂/H₂S 比を現場で求める。

平成 28 年度では、昨年度と同様に箱根山に加え草津白根山と那須岳を観測対象に加える。草津白根山では 2014 年の初頭に微小地震が頻発し山頂域で山体が膨張したが、その後収縮に転じた。那須岳は前年度まで静穏だったが、登山客が多い活火山であり、御嶽山と同様に噴気の近くを登山客が通行するので、静穏時の火山ガスの組成をベースラインとして把握し、将来の活発化に備えることが重要である。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

【箱根山】

2016 年 4 月から 2017 年 1 月まで箱根山の大涌谷と上湯場の二か所で噴気の採取・分析を、毎月一回の頻度で、繰り返し実施した。箱根山において、本年度は昨年度のような規模の大きな群発地震は発生しなかった。これに対応し、火山ガスの化学組成や安定同位体比にも比較的、変化が乏しかったが、2016 年 10 月 7 日に大涌谷で採取した噴気には、いわゆるシーリングの兆候が観測された。シーリングとは、マグマから発散する揮発性物質が、地殻中の通路の「目詰まり」により、浅部熱水系に供給される流量が減少することを意味する。シーリングの具体的な兆候としては、N₂/He 比が 45000 まで上昇したことが挙げられる。通常、この比は、4000 程度の値を示す。また H₂O の酸素同位体比 (18O-SMOW) が -9.7‰ まで減少した。10 月 7 日に CO₂/H₂O 比は、0.0056 であった。その後、2016 年 11 月 4 日に CO₂/H₂O 比は 0.110 に急増した。シーリングを意味する噴気の組成変動の後に CO₂/H₂O 比が上昇したのは、2015 年 4 月前後の群発地震活動以来の現象であった。一方で、2016 年 11 月に、目立った群発地震は発生していない。このことは、規模の小さなシーリング現象が起きても、群発地震活動につながらない場合があることを意味する。よって、噴気の化学的観測を確実性の高い群発地

震予測に結び付けるには、今後の課題として、噴気の組成に見られる変動の大きさと、群発地震の発生の有無の関係を見つけることが重要である。

【草津白根山】

山頂火口湖の北側山麓に展開する東西方向に帯状に分布する地熱地帯の三か所で、2016年4月と10月に噴気を採取・分析した。CO₂/H₂O比は前年度から引き続き低下傾向にあり、SO₂/H₂S比は低い値を維持した。一方で、CH₄/CO₂比が今年度に急増した。これは、浅部熱水系における地熱流体の比率が上昇したことを意味する。ここで地熱流体とは、もともとマグマ起源であった流体が地殻内に長期間滞留することにより、岩石との総合作用で還元され、CH₄に富むようになった流体を指す。本年度に観測されたCH₄/CO₂比の上昇は、浅部熱水系で、マグマ性流体の寄与が減少し、それを補うように地熱流体が侵入しつつあることを暗示している。

【那須岳】

山頂溶岩ドームの西側の付け根に広がる地熱地帯の三か所で噴気の採取・分析を2016年11月に行った。本年の噴気の化学組成および安定同位体比は前年度からほとんど変化が見られなかった。このことは、那須岳の火山活動が静穏な状態を維持していることを示唆している。

(8)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名：

(代表者名*)大場 武* 東海大学 教授
谷口 無我 東海大学 特定研究員(PD)
代田 寧 神奈川県温泉地学研究所 主任研究員
他機関との共同研究の有無：無

(10)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東海大学理学部化学科
電話：0463-58-1211
e-mail：takeshi_ohba@tokai-u.jp
URL：

(11)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：大場 武
所属：東海大学・理学部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

公的研究機関以外が所有する計測データを用いた地下水の地震先行現象調査

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

2011 年東北地方太平洋沖地震の地下水先行現象に関して、これまで岩手県陸前高田市、大船渡市、釜石市、山田町の温泉(鉱泉)施設と、宮城県が所有する地下水観測井 44 本、ならびに宮城県石巻市から岩手県山田町までの 5 市 4 町における民間の井戸水について、先行異常の聞き取り調査等を実施してきた。その結果、大船渡市の五葉温泉源泉井戸と多賀城市の多 2 観測井の地下水位時系列データから、ほぼ同時期(本震の約 3ヶ月前)に急激な水位低下があったことが確認された。また、昭和三陸地震で混濁の先行異常があったとされる大船渡市正源寺の浅井戸では 2011 年 2 月中旬頃からの水位低下が確認され、気仙沼市満福寺の浅井戸では混濁(時期不明)が確認された。したがって、東北地方太平洋沖地震では水位低下 3ヶ所、混濁 1ヶ所の計 4ヶ所で地下水先行異常が確認されたが、61ヶ所では確認されなかった。平成 28 年度は三陸地方をさらに北上し、岩手県宮古市から青森県八戸市までの温泉施設等での聞き取り調査を実施する。これにより、宮城県石巻市から青森県八戸市の三陸地方ほぼ全域を調査したことになる。

三陸地方以外での地下水関連の先行異常は、例えば Tsunomori and Tanaka (2014) が、35 年以上観測している伊豆半島(中伊豆)の井戸で、東北地方太平洋沖地震の前にラドン濃度の異常な上昇が見られたと報告している。また、関東地方では千葉県を中心に茨城県・埼玉県・東京都・神奈川県の一都四県に広がる南関東ガス田について、東北地方太平洋沖地震の前からガスが出にくくなったとの証言があった(<http://portal.nifty.com/kiji/131126162477.1.htm>)。これは人の感覚による判断であるが、南関東ガス田では企業による採掘もなされているため、数値データが残っている可能性がある。また、このガスは地下水に溶け込んだ水溶性のガスで地下水が深く関係している。仮に南関東ガス田でも先行異常が見いだされたなら、マグニチュード 9.0 の地震に対して、その先行現象が東北地方のみならず関東地方にまで及んでいたことを示すことになる。そこで、異常があったとされる千葉県茂原市を中心に聞き取り調査を実施する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

2016 年 4 月に M7.3 を本震とする熊本地震が発生した。熊本県は地下水が豊富なことで知られている。そこで、地下水観測施設の有無を調査したところ、熊本市が地下水位データをホームページ上で

公開していることがわかった (<http://www.kumamoto-groundwater.jp/>)。本震の震源に最も近い井戸は 5km 程度に位置していた。そこで、当初の計画にはなかった 2016 年熊本地震の地下水先行異常調査を優先させることにした。

熊本市により公開されている地下水位の数値データは 9 時値、日平均、1 日の最高値および最低値の 4 種類である。観測井は市内 21 観測点の深井戸と浅井戸あわせて 30 井ある。そのうち前震が発生した 2016 年 4 月 14 日前 6 ヶ月間のデータが欠測または不良の井戸を除き、16 観測点の計 24 井のデータを使用した。この 24 井は深井戸 16 と浅井戸 8 である。使用したデータは最も古いものが 2006 年 8 月 1 日からで、10 年近くの長期間のデータで先行異常の有無を調査することができた。各井戸の 9 時値と日平均水位の時系列データを調べたところ、特に深井戸は明瞭な年(365日)周期変化を示し、熊本市の気圧変化(JMA)との相関が認められた。また、スペクトル解析では年周期以外に 7 日周期が卓越する井戸が多く見られた。7 日周期の卓越は気圧データや熊本県宇城市三角の潮汐データ(JMA)には見られず、人間活動による影響と考えられる。熊本地震の先行異常について、すべてのデータで急激な水位の上昇や低下、またはトレンドの変化は認められなかった。一方、1 日の最高値と最低値の差分については、御草笛田観測点の浅井戸でのみ差分値が 50cm を超える異常を示す日が 2016 年 2 月頃から増加していた。これは一見すると地震先行異常のように見えるが、データを過去に遡ると同様の異常は 2013 年や 2014 年にも多数の日に確認できる。また、田迎観測点の浅井戸では同様の異常が 2011 年から 2013 年にかけて、沖新中島観測点の浅井戸では 2010 年から 2014 年にかけて、やはり多数の日に確認できる。以上のことから、差分値の異常は熊本地震の先行現象とは考えられない。次に、各井戸の水位をコンター図により面的に示し、熊本地震前の異常の有無を調べた。各井戸の水位は降雨の影響を受けることから、その影響が最も少ない 11 月と 12 月の水位の平均値を各年の値とした。熊本地震の約 4 ~ 5 ヶ月前となる 2015 年 11 月と 12 月の平均水位コンター図をそれより前の年のもの比較したが、大きな違いはなく先行的な変化は見られなかった。以上より、熊本市が公開する地下水位の生データからは、熊本地震に先行する異常変化は確認されなかった。ただし、地震に先行する水位の異常変化は地震の数時間前や直前といった報告もある(例えば、梅田・板場, 2014)。本調査は日変化データのため、前震のあった 2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分の数時間前や直前の変化については不明である。

三陸地方の聞き取り調査は 2017 年 2 月 6 日時点で、岩手県宮古市、岩泉町、田野畑村、普代村で実施したが、水位データを記録していた施設は見つからなかった。宮古市の小田代冷泉では、管理者が東北地方太平洋沖地震前のことを記憶していたが、源泉の異常はないとのことだった。また、青森県八戸市は地下水位観測井を所有しており、この水位データは『八戸市の環境』(八戸市, 2015)に公開されている。8 本の井戸について、古いものでは昭和 52 年(1977 年)から平成 27 年(2015 年)までの月平均水位のグラフが示されているが、五葉温泉や多 2 観測井のような東北地方太平洋沖地震前の明瞭な先行異常は認められなかった。この地下水位データについて八戸市に問い合わせたところ、日平均データが残っているとのことだったので、より詳細な調査を行うために情報公開制度を用いて日平均データを取り寄せているところである。

- (8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
織原義明・鴨川仁, 2016, 三陸地方における東北地方太平洋沖地震前の井戸水異常の調査 岩手県山田町から宮城県石巻市にかけて, 地震 2 輯, 69, 31-34.
織原義明・鴨川仁・長尾年恭, 2016, 熊本市が公開する地下水位データにみる 2016 年熊本地震の先行現象に関する考察, 日本地震学会講演予稿集 2016 年度秋季大会, S14-11.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

織原 義明* 東京学芸大学教育学部物理科学分野 専門研究員
東郷 翔帆 東京学芸大学大学院・教育学研究科 大学院生
高橋 周作 東京学芸大学大学院・教育学研究科 大学院生

新田 英智 東京学芸大学大学院・教育学研究科 大学院生
他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京学芸大学教育学部物理科学分野

電話：

e-mail：orihara@u-gakugei.ac.jp

URL：

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：織原義明

所属：東京学芸大学教育学部物理科学分野

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

臨界現象の物理を背景としたナチュラルタイム概念による地震活動度解析

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

Natural time の概念については τ が 0.07 に収束することによって臨界現象における臨界点の発生時を認定できることを既にいくつかの地震について示したので、ギリシャにおいては短期予知に有効であるとされている。しかし、我々が行った本邦の大地震での当初の解析ではあらゆる大地震には有効ではなかった。これについては臨界点発生認定の数学的記述に問題があるとも考えられるため、パラメーターチューニングの手法によってその原因を探る。

また臨界である事の大きな判断要素として、相関距離の増大(長距離相関)がある。このため、より正確な地震発生場所を予測するためには、地震発生における空間的な constraint をどうするかが問題となる。本研究では、地震活動静穏化評価の方法である RTM 法 (Nagao et al., EPS, 2011) をはじめとした他の概念を natural time 解析と組み合わせ、より精度の高い臨界現象検知を目指す。現在、RTM 法との関係以外にも、有望と見られる他の地震活動解析による先行現象検知 Bouchan et al. (Nature Geosci., 2013) や Lippiello et al. (Scientific Reports, 2012) の結果との関係を平成 27 年度に続き精査する。

我々がギリシャのグループとは独立に得られた成果を今年度も引き続き論文執筆を続け、2016 年度初めには論文として出版させる。これは、Varotsos らの理論体系を再構築したアンザツ (Ansatz) をもとに、自己組織化臨界現象の例として地震を対象にして解析している。これらの成果は「natural time で解析すると臨界状態がなぜ判別できるのか?」、「地震の順番を変えて natural time 解析を行うと本来の時系列の τ 分布とは異なる結果が得られる。つまり地震の順番は重要な情報である」など、いまままで不明瞭であった点を解決するものである。この論文執筆後は、重み付き時間・マグニチュード・距離に依存する新たな関係式を定式化した結果について、論文化する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

研究計画においては、1) 解析開始時などのパラメーターの問題、2) 他の地震活動度解析との関係、3) Natural Time の基本問題を研究課題とした。以下にこの 3 つについての成果を順に述べる。

過去のギリシャにおける先行研究では、臨界点を知るための指標である τ をどの地点から解析すればよいかというのは臨界状態になった地点から開始すればよいとされている。もしそのような場が臨界状態になり始めたとするならば、他の地震・測地的、地球化学的、地球電磁氣的などの先行現象が同時期に発生している可能性がある。2011 年東北地方太平洋沖地震においては、1月上旬から τ 算出の開始時とすると本震直前に τ という τ の分布を示すパラメーターが最小になること

がわかっている。その時点においては、地磁気の変動、測地的変動の報告があり、整合的な結果が得られていることがわかった。現在この成果は、投稿準備中である。

Natural time 解析の Ansatz の解釈によれば、現在の地震活動度の状態は、一定の領域ないではその前の地震活動度における 1 地震のマグニチュードが大きい小さいは、より直前のものが影響すると解釈できる。その観点に従うと、先行研究で求めていた 1 分布の算出方法では、不十分であることがわかった。その結果、解析方法を変えて 1 の分布を求めるようにしたが、分布を構成する 1 の個数が新しい方法であると得られにくい欠点がある。1 分布の算出概念が明快になったものの、統計的評価ができるようにするための改善が必要であることがわかった。

今年度は複数の地震学的な先行現象抽出手法を 2016 年熊本地震について行った。論文では、 b 値, Z map, RTM, 地震密度解析 (Lippiello ら) などの解析手法を適用した。先行的変動の指摘は行えたが (Nanjo et al., 2016)、Natural time 解析を適用したところ、1 の分布が 0.07 に収束していく結果は得られたものの、以下に述べる改善された解析手法ではロバストな結果が得られなかったため、この部分は上記出版物には含めず、今後詳細な解析をすることになった。

なお本研究計画の一環として実施した Lippiello らの結果を熊本地震に対して適用した結果を示す。Lippiello らは、カリフォルニアの地震を詳細に解析し、余震の分布と前震の分布パターンはほとんど同一という結果を公表した。もし Lippiello らの考えが正しければ、地震は自分の大きさを “知って” いる事になり、地震発生予測研究に大きな進展をもたらす可能性がある。ここでは気象庁一元化地震カタログを用い、震央を中心として余震および前震の発生密度がどのような空間分布をしているかを解析した (Nanjo et al., 2016)。

カルフォルニアと同様に、熊本地震を含む日本の余震と前震の空間パターンはほとんど同一という結果を得た。さらに、そのパターンはアスペリティのサイズに関係することも分かった。このことから、テクトニクスが違う日本とカルフォルニアに関わらず、地震は自分の大きさを事前に “知って” いた事を支持する。

図 1 は特徴的な距離 r_c と本震のマグニチュード m の関係を示す。図 2 は熊本地震における地震活動密度 (ρ) と距離 r の関係である。

- (8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Nanjo, K. Z., J. Izutsu, Y. Orihara, N. Furuse, S. Togo, H. Nitta, T. Okada, R. Tanaka, M. Kamogawa and T. Nagao, Seismicity prior to the 2016 Kumamoto earthquakes, Earth, Planets and Space, 68:18, DOI 10.1186/s40623-016-0558-2, 2016.
- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :
上田誠也 東京大学地震研究所 名誉教授
鴨川仁 東京学芸大学 助教
長尾年恭 東海大学 教授
他機関との共同研究の有無 : 無
- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名 : 東京大学・地震研究所
電話 :
e-mail : suyeda@st.rim.or.jp
URL :
- (11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
氏名 : 上田誠也
所属 : 東京大学・地震研究所

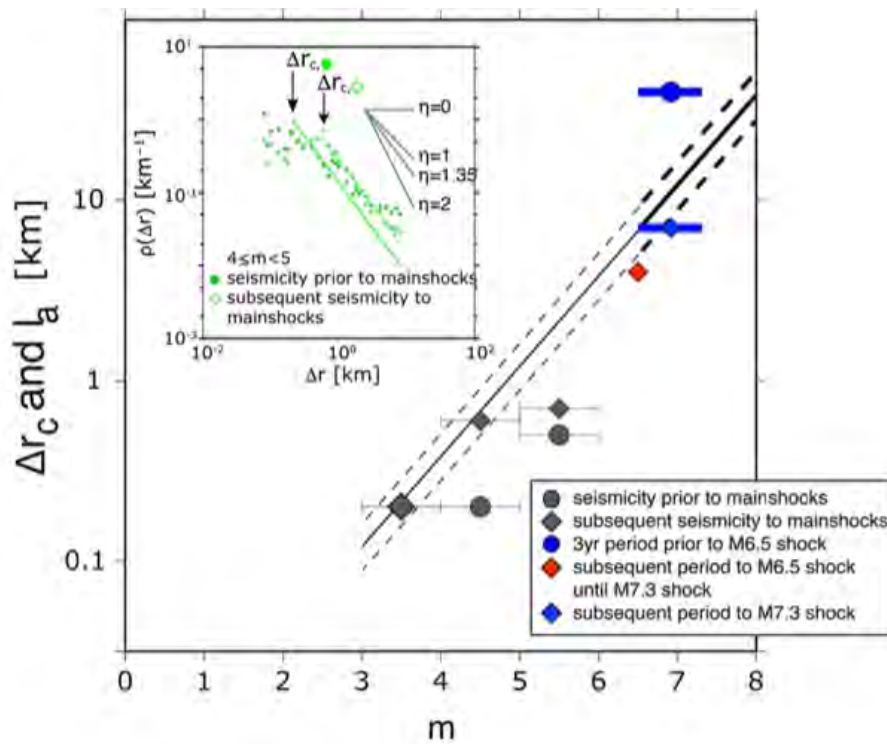


図1. 特徴的な距離 Δr_c と本震のマグニチュード m の関係。丸印は本震に先行する地震活動、菱形印は本震に引き続く地震活動。熊本地震は青色のデータで示す。青色の丸印は M6.5 の前震より前の地震活動、青色の菱形印は M7.3 の本震より後の地震活動。参考として、M6.5 から M7.3 までの地震活動のデータを赤色の菱形印で示す。直線はアスペリティの半径と地震の m の関係を示す (Somerville et al. (2015) に基づく)。挿入図は、地震活動密度 $\rho(\Delta r)$ と本震 ($m=4-5$) からの距離 Δr の関係。緑色の丸印は本震に先行する地震活動、緑色の菱形印は本震に引き続く地震活動。冪乗関係 $\rho(\Delta r) \sim \Delta r^{-\eta}$ をデータにフィッティングさせている ($\eta=1.35$)。フィッティングから逸脱する距離を特徴的な距離 Δr_c として矢印で示す (Nanjo et al., 2016)。

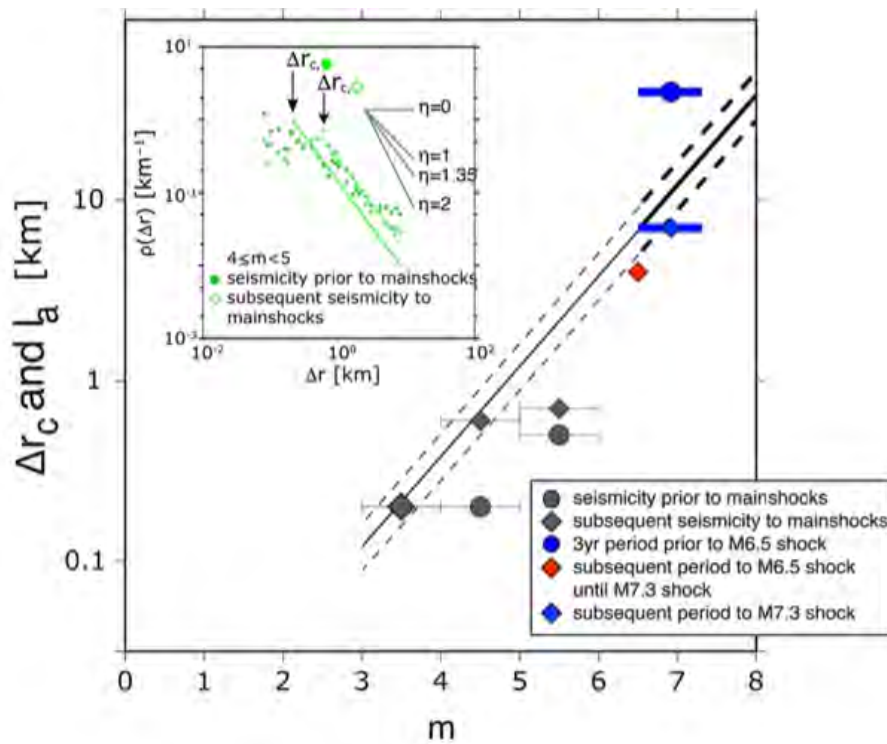


図2. 熊本地震における地震活動密度 $\rho(r)$ と距離 r の関係。青星印は、M7.3の本震より後の地震活動。参考として、M6.5からM7.3までの地震活動のデータを赤三角印で示す。冪乗関係 $\rho(r) \sim r^{-1.35}$ をデータにフィッティングさせている ($\eta=1.35$)。フィッティングから逸脱する距離を特徴的な距離 r_c として矢印で示す。挿入図は、M6.5の前震より前の地震活動についての $\rho(r)$ と r の関係を示す。ばつ印はM6.5より前の18年間の地震活動に基づくデータを示す。同様に、灰色の三角印、黄色の菱形印、青色の丸印は、それぞれ、12年間、6年間、3年間の地震活動のデータを示す。M6.5より前の3年間の地震活動のデータに冪乗関係 $\rho(r) \sim r^{-1.35}$ をフィッティングさせ、フィッティングから逸脱する距離 r_c を矢印で示す。 $r=55\text{km}$ より長い距離 (灰色の領域) での $\rho(r)$ は、バックグラウンドレベルの地震活動密度を示す (Nanjo et al., 2016)。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

蔵王山、五色岳活動期のマグマ進化過程解明に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

桜島火山噴火

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

火山の噴火予測を行うためには、活火山の地質調査・岩石学的研究によって過去の噴火間隔・規模・様式についての規則性や時間的変化を理解し、マグマ溜まりにおけるマグマの分化や混合などのマグマ進化過程を解明する必要がある。特に、各噴火において噴火現象がどのように推移し、それをもたらした地下のマグマ供給系とどのように関連しているか明らかにしておくことは非常に重要である。

本研究では、東北日本火山フロント中部に位置する蔵王火山を対象とし、主に地質調査を基に噴火史を明らかにした上で、マグマ供給系の進化過程を解明する。なお、蔵王山については噴火の古記録も多いので、地質調査によって得られた情報を古記録の情報と合わせて検討し、噴火の実態を、噴火の源であるマグマ供給系も含めて、より詳細に把握できる可能性がある。

平成 28 年度は、平成 28 年度に大枠を明らかにした五色岳由来のテフラ層序のうち、御釜噴火によるものについて検証を行い詰めていく。特に、御釜に火口が移った約 800 年前と、最新の御釜噴火につながる 18 世紀末～19 世紀のフェーズについて、その推移を明らかにする。また、火口が御釜に移る以前のテフラ層について観察を詳しく行う。また、系統的に試料採取を行い、主に顕微鏡による岩石組織観察と XRF による全岩化学組成の分析を行う。得られたデータを基に、マグマ供給系について検討を開始する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

昨年度の調査によって、五色岳が形成され始めた約 2 千年前以降について火山灰層が 9 枚認められ、テフラ層と近傍相との層位関係から、下位の 2 枚以外は御釜を噴出中心とするものと考えられた。下位の 2 枚を Za-GS 1-2、その上位の 7 枚を Za-Ok-1 7 とした。各々の年代は、順に 13 世紀、14 世紀、14～15 世紀、15～16 世紀、17 世紀、18 世紀末～19 世紀、1895 年と推定された。

本年度は、御釜からのテフラ層の噴火推移について検討を行った。Za-Ok1 3, 5 6 については、水蒸気噴火噴出物 複数のマグマ噴火噴出物という推移が、Za-Ok4 については水蒸気噴火噴出物を欠くこと、Za-Ok 7 についてマグマを少量含む水蒸気噴火噴出物のみということ再確認された。この中で、Za-Ok1 と 6 についさらに詳細を検討した。

Za-Ok1 は、水蒸気噴火に始まりマグマ噴火に推移し、その後一旦短い休止期を経て、再びマグマ噴火が起こったことが明らかとなった。なお、マグマ噴火による層は複数累重している。古記録によれば 1230 年に柚子大の石が御釜から東方約 9? 付近に降ったことが記録されているが、これに対応する径数 cm のスコリアを含む層も認められた。この層は上記の短い休止期の後に形成されている。

Za-Ok6 は中腹の少数の露頭でのみ認められる。最下部に水蒸気噴火噴出物が認められ、その上位にマグマ噴火によるスコリア質火山砂層が累重している。しかし、スコリア質火山砂層は土壌混じりで不明瞭に見える場合が多い。これは小規模のマグマ噴火が断続したためである可能性がある。Za-Ok6 は 18 世紀末～19 世紀のものと推定されたので、この時期の古記録を検討しなおしたところ、合計で 42 件の噴火記録があった。その記述を精査したところ、1794 年、1809 年、1820 年、1831 年、1867 年前後に活動が活発であったらしい。1794 年はこの噴火エピソードの最初の水蒸気噴火で、その後の 3 回は、後続するマグマ噴火に相当するものかもしれない。

御釜噴火噴出物について系統的に採取した試料について、実体鏡と顕微鏡による岩石組織観察、XRF による全岩化学組成の分析を進めた。マグマ噴火による噴出物には、各種マグマ混合の証拠が認められ、また全岩組成もそれを示唆している。水蒸気噴火噴出物中には複数種の変質岩片の他に、石質岩片やスコリアも含まれていた。スコリアの中には、上下のマグマ噴火による層の中にも含まれるものよりも気泡密度が優位に高いものが含まれていた。このことはマグマもある程度の量含まれていた可能性を示唆している。

- (8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Ban M, Takebe Y, Adachi T, Matsui R, Nishi Y (in press) Eruption histories of Zao and Azuma volcanoes and their magma feeding systems of recent activities. Bulletin of the Earthquake Research Institute Univ. Tokyo.
- 伴雅雄、足立辰也、廣上千尋、武部義宜 (2016) 蔵王火山の過去約 800 年間のマグマ供給系. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会予稿集 SCG62-08.
- 西勇樹、伴雅雄、及川輝樹、山崎誠子 (2016) 蔵王火山、御釜-五色岳火山体基底部及びその周辺に分布する噴出物の地質学的・岩石学的研究. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会予稿集 SVC48-06.
- 佐藤真、伴雅雄、及川輝樹、山崎誠子 (2016) 蔵王火山、鳥兜山-横倉山・古熊野岳・中丸山火山体の地質学的・岩石学的研究. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会予稿集 SVC48-P08.
- Alvarez-Valero AM, Burgess R, Barcena MA, Fraile-Nuez E, Ban M, Flores JA, Recio C, Ruzie L, Geyer A, Giralt S, Recio G, Jordan R (2016) Noble Gas Evolution in Submarine Volcanoes: New Forecasting Perspectives. Goldschmidt Conference Abstracts. 52.
- Ban M, Kimura J-I, Takahashi T, Uzawa Y, Ohba T, Fujinawa A, Hayashi S, Yoshida T, Miyazaki T, Chan Q, Senda R, Vaglarov B, Tatsumi Y (2016) Homogeneous Mantle and Diverse Arc Crust: Significant Role of Mafic Lower Crust for Chemical Diversity of Arc Magmas. Goldschmidt Conference Abstracts. 151.
- Nishi Y, Ban M, Oikawa T, Yamasaki S, Sato S, Alvarez-Valero A, Shinjo R (2016) Magma Feeding System in the Initiation of Goshikidake Activity (Zao Volcano, Japan). Goldschmidt Conference Abstracts. 2288.
- 武部義宜、西勇樹、河野元、足立辰也、佐藤光、伴雅雄 (2016) 蔵王火山、最近 3.5 万年間の噴出物の岩石学的特徴とマグマ供給系の変遷. 日本火山学会 2016 年度秋季大会講演予稿集. B 3-03.
- 佐藤佳子、武部義宜、熊谷英憲、伴雅雄 (2016) 最新期の K-Ar 年代をもつ蔵王火山の初生比および希ガス同位体比の変遷. 日本火山学会 2016 年度秋季大会講演予稿集. B 3-04.
- 佐藤真、伴雅雄、高野徹、及川輝樹、山崎誠子 (2016) 第四紀火山、冷水山火山の岩石学的特徴. 日本火山学会 2016 年度秋季大会講演予稿集. P21.
- 廣上千尋、伴雅雄 (2016) 蔵王火山、1895 年噴出物中の火山弾の岩石学的特徴. 日本火山学会 2016 年度秋季大会講演予稿集. P22.
- 西勇樹、伴雅雄、及川輝樹、山崎誠子 (2016) 蔵王火山五色岳形成開始前後の噴出物のマグマ溜まり.

日本火山学会 2016 年度秋季大会講演予稿集. P23.
佐藤真、伴雅雄、及川輝樹、山崎 誠子蔵王火山，鳥兜山-横倉山・古熊野岳・中丸山火山体の地質学的・岩石学的研究．日本地球惑星科学連合 2016 年大会講演要旨 SVC48-P08．

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

伴 雅雄 山形大学理学部 教授
他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：山形大学理学部
電話：023-628-4642
e-mail：ban@sci.kj.yamagata-u.ac.jp
URL：

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：伴 雅雄
所属：山形大学理学部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

短波長不均質構造推定による地震動即時予測高度化へ向けた試験的研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本年度は、昨年度に引き続いて九州地方の不均質な散乱・減衰構造の推定の高度化を進めるとともに、Hoshiya and Aoki (2015) による地震動即時予測スキームにおいて不均質構造を取り込めるように拡張し、不均質構造を取り入れることによる地震動即時予測の精度への効果を検討する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

昨年度に引き続いて、輻射伝達理論に基づく Multiple Lapse Time Window 法によって九州地方の散乱減衰と内部減衰の同時推定を行った。昨年度より使用観測点を増やし、また、解析に用いる地震の条件を吟味するなどした結果、昨年度明らかになった活火山周辺に加え、一部の活断層周辺においても局所的に散乱及び内部減衰が大きいことが明らかとなった。加えて、地震動即時予測においても減衰構造とともに速度構造の影響が予想されることから、走時トモグラフィを用いた高解像度の速度不均質推定にも着手した。

不均質な減衰構造の推定とともに地震動即時予測スキームの拡張も進め、不均質な散乱・減衰構造を取り込んだ計算が行えるようになった。この拡張したプログラムを用いて、平成 28 年熊本地震の一連の活動のうちの最大地震(4月16日1時25分、マグニチュード 7.3)の地震動即時予測シミュレーションを行ったところ、不均質構造を取り込むことによって、震度予測残差の2乗平均平方根(RMS)が約10%程度(10秒後の震度予測の場合)改善されることがわかった。また、より未来の予測になると予測残差のRMSの改善度合いが向上することが分かった。これは、リードタイムの長い予測を行う場合には不均質構造を考慮することが必須であることを示している。また、地震動即時予測に不可欠な観測点のサイト特性を補正する時系列フィルタの推定を行い、その成果を論文として公表した。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Ogiso, M., S. Aoki, and M. Hoshiya (2016), Real-time seismic intensity prediction using frequency-dependent site amplification factors, *Earth Planets Space*, 68:83, doi: 10.1186/s40623-016-0467-4.

小木曾仁・干場充之・志藤あずさ・松本聡 (2016), 減衰構造を取り入れた揺れから揺れの即時予測の試み: 2016 年熊本地震, 日本地震学会 2016 年秋季大会, S21-P08, 2016 年 10 月
Ogiso, M., M. Hoshiaba, A. Shito, and S. Matsumoto (2016), Real time numerical shake prediction incorporating attenuation structure: a case for the 2016 Kumamoto Earthquake, AGU Fall Meeting, S23A-2746.
志藤あずさ・松本聡・清水洋・2016 年熊本地震合同観測グループ (2016), 2016 年熊本地震震源域の 3 次元地震波速度構造, 日本地震学会 2016 年秋季大会, S21-P28, 2016 年 10 月

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

志藤あずさ 九州大学 学振特別研究員
松本 聡 九州大学 准教授
干場充之 気象庁気象研究所
室長 小木曾仁 気象庁気象研究所 研究官
他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 九州大学大学院理学研究院
電話 : 0957-62-6621
e-mail : azusas@sevo.kyushu-u.ac.jp
URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 松本 聡
所属 : 九州大学・大学院理学研究院

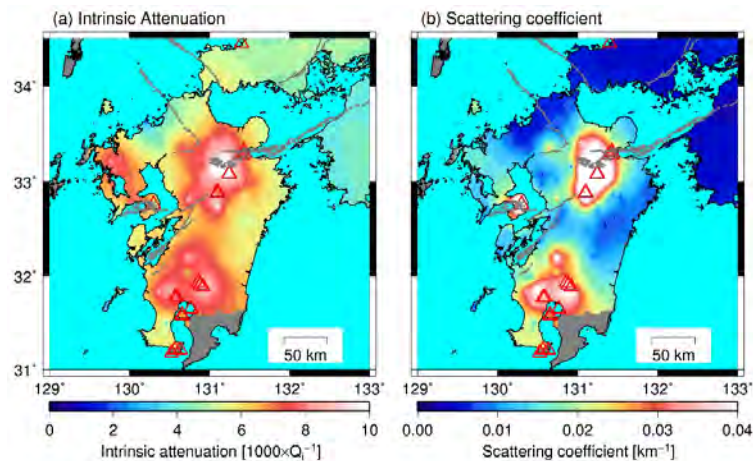


図 1

本年度得られた 1-2Hz の帯域における (a) 減衰構造と (b) 散乱構造。散乱構造は散乱係数の分布として示している。また、地震調査研究推進本部による主要活断層を灰線で、活火山の位置を赤三角でそれぞれ示す。

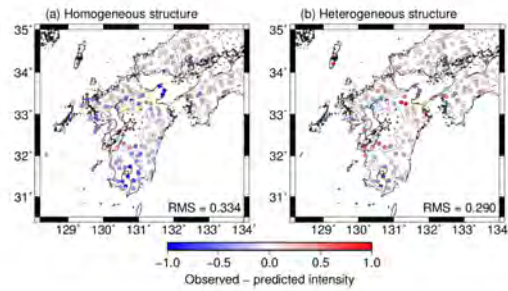


図 2

熊本地震の地震動即時予測シミュレーションを行ったときの、10 秒後の予測震度と観測震度の残差分布。(a) 一様構造 ($Q_i=200$, $g_0=0.005\text{km}^{-1}$) を仮定した場合と、(b) 図 1 の不均質構造を取り入れた場合をそれぞれ示す。震源の位置は星印である。また、右下の震度予測残差の RMS 値は震源距離が 50km 以上 300km 以下の観測点について計算した。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

北海道太平洋岸の潟湖周辺の多点掘削に基づく巨大津波による砂州形成過程の理解

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

平成 28 年度は, 十勝海岸潟湖群のうち生花苗沼と湧洞沼の二湖沼の砂州上で掘削を行い, 採取された堆積コアの層相, 粒度, 透水係数, C^{14} 年代, 薄片観察に基づき, 昨年度見出されたイベント堆積物の空間スケールと起源について詳細な検討を行う。また, これによって巨大津波などイベント前後の潟湖の形成過程を潟湖の水循環変動の視点で詳細に検討する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

今回採取された生花苗沼, 湧洞沼の砂州堆積物には, 昨年度見いだされたイベント堆積物に相当するレキ層が確認された。ただ, 昨年よりも層厚が薄く, レキ層の分布が空間的に狭い範囲で集中していることが示唆された。また, 砂州堆積物の起源について, レキ粒子について薄片を作成し, その構造を偏光顕微鏡で観察した。結果として, 堆積物のほとんどが日高山脈を起源とする河川によって運搬された土砂で, 沼背後の流域起源ではないことがわかった。つまり, 砂州堆積物は, 十勝川を起源とする土砂が沿岸の漂砂として堆積し, 発見されたイベント堆積物は海起源であることが判明した。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので, 平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Chikita, K., Y. Sakata, S. Mayeda, Y. Nishimura, and M. M. Hossain, 2016, Coastal lagoons hydrologically controlled by groundwater outflow to the ocean: the role of tsunami deposits, Chapter 2 in "Coastal Lagoons: Geology, Characteristics and Diversity", NOVA Scientific Publications, Inc.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

知北和久* 北海道大学 特任准教授

西村裕一 北海道大学 助教

他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：北海道大学・大学院理学研究院
電話：
e-mail：
URL：

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
氏名：知北 和久
所属：北海道大学・大学院理学研究院

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

サンゴからなる津波石の骨格調査に基づく南西諸島周辺の津波履歴の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本研究では、研究代表者ら 2 名が鹿児島県喜界島および奄美大島へ行き、解析および掘削に最適な化石および現生サンゴを選定する。続いて、簡易掘削の許可を得て予備調査および簡易掘削を実施する。サンゴ骨格の柱状試料は、軟エックス線画像を撮影し、顕微鏡および電子顕微鏡を用いて微細骨格構造を観察する。続いて、密度バンド(年輪)に沿って化学分析用の粉末試料を採取し、炭酸カルシウム中に含まれる酸素同位体比、炭素同位体比、微量元素を予察的に分析する。同時に、研究協力者は、既往研究成果を基に南西諸島北部を襲った過去の津波、高潮についての情報を収集し、サンゴに経歴が記録された可能性があるイベント情報を確認する。サンゴ年輪に沿った化学分析の時系列データと柱状試料の最上部と最下部の放射性炭素同位体年代値から得られた年代値とも比較をして、サンゴからなる津波石が津波により運搬された正確な年代値と運搬される前の環境を復元する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

本年度は研究代表者ら 2 名が、鹿児島県喜界島および奄美大島へ行き、隆起サンゴ礁段丘の地形解析と化石および現生サンゴの掘削を行った。喜界島周辺の 14 か所において完新世の地形解析を行い、同じ箇所では化石サンゴを採取した。現在行っている化石サンゴの年代測定により、喜界島を周囲を取り囲む隆起サンゴ礁の年代と形成要因が地震によるものか推定する。また、インドネシアのサンゴ骨格試料からは、地震隆起によるサンゴが受ける日射量の変化が骨格中の炭素同位体比組成に記録されていることを発見した。喜界島および奄美大島の現生サンゴ骨格試料では 1911 年および 1995 年の喜界島沖地震発生時にサンゴの骨格成長が減衰していることを明らかにした。今後、これらの指標を用いて喜界島沖地震および津波の履歴とその影響を評価することを目指す。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

伊藤早織, 渡邊剛, 山崎敦子, Teddy Eka Putra, 西村 裕一 (2016) サンゴ骨格に記録される地震イベント, 月刊海洋 号外, 56, 60-71. 西村裕一 (2016) サンゴ礁海岸に見られる地震と津波の痕跡～喜界島の地震履歴構築に向けて～, 月刊海洋 号外, 56

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

渡邊 剛* 北海道大学 講師

西村裕一 北海道大学 助教

他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 渡邊 剛

所属 : 北海道大学・大学院理学研究院

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

高頻度爆発的噴火履歴の摩周火山におけるマグマ供給系と噴火過程

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

摩周火山は約 7500 年前に生成した直径 6 x 7 km のカルデラをもつ(勝井, 1955)。これまでの研究成果(Katsui et al., 1975; 隅田, 1990; 岸本ほか, 2009; 長谷川ほか, 2009)に基づくと、摩周火山はプリニー式噴火のような大規模噴火を周期的に行っているが、その間隔は 1000 ~ 2000 年の休止期を経て繰り返されていることが考えられる。摩周火山の最新の噴火は約 1000 年前に起こった後カルデラ火山・カムイヌプリのプリニー式噴火である。この噴火後、摩周火山では噴火がなく、現況は噴気活動もなく静穏な状態が続いている。

本研究は、プリニー式噴火や火砕流噴火など規模の大きな爆発的噴火を過去 4 万年間の噴火史を通して頻繁に繰り返してきた摩周火山におけるカルデラ形成の噴火推移とマグマ供給系の変遷を明らかにすることを目的とし、大規模噴火に対する将来的な噴火予測、火山防災・減災の研究に寄与するものである。

平成 28 年度は、過去 4 万年にわたる摩周火山の詳細な噴火史を確立することと、約 7500 年前に起こった摩周カルデラ形成における初期の噴火推移を調査し、カルデラ形成における噴火の準備過程とマグマ供給系の変遷モデルを構築する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

今年度の地質調査及び岩石学的研究から以下の成果を得たので報告する。

(1) 主カルデラ形成噴火期(7500 年前, 岸本他, 2009)の Ma-j, Ma-i, Ma-h, Ma-g, Ma-f の一連のテフラ層序を再検討し, Ma-i 層をプリニー式噴火の Ma-i1 層とそれに先行する噴出物の Ma-i2 層とに区分した(図 1)。3 回続いた一連のプリニー式噴火(Ma-i1, Ma-h, Ma-g)の間には石質岩片に富む薄層が挟まれる(Ma-i1 と Ma-h の間の薄層を Ma-ih, Ma-h と Ma-g の間の薄層を Ma-gh と称する)。Ma-ih と Ma-gh では石質岩片の種類が異なり, 連続的な噴火であったが, Ma-g のプリニー式噴火では火口の位置が変わった可能性がある。

(2) Ma-i1, Ma-h, Ma-g の順にマグマの組成は連続的に SiO₂ が減少していくが, Ma-g ではわずかに変化傾向が異なる。Ma-f では SiO₂ の組成範囲が広い。斜長石斑晶コアの An 成分の分布では Ma-i1, Ma-h, Ma-g, Ma-f の間で大きな違いはない。しかし磁鉄鉱の組成分布では Ma-g が Mg/Mn 比に富む斑晶が Ma-i1, Ma-h, Ma-f よりも多い(図 2)。Ma-g のプリニー式噴火では高温苦鉄質マグマの供給

量が噴火の進行とともに増加したというよりも、異なるマグマ溜りから噴火した可能性がある。そして双方のマグマ溜り（Ma-i と Ma-h を噴出させたものと Ma-g を噴出させたもの）から同時に Ma-f の破局的噴火の段階に至ったのではないと思われる。

(3) 中央火口丘(カムイヌプリ)形成期(6000? ~ 1500 年前, 3 つの噴火時期)では,カムイシュ島溶岩, Ma-e テフラ,カムイヌプリ西側溶岩, Ma-d テフラ, Ma-c テフラ,カムイヌプリ北側溶岩が活動した(図 3)。カムイシュ島溶岩($\text{SiO}_2=73.9\text{wt.}\%$)は, Ma-f の斜長石コア組成に比べ, 苦鉄質マグマ由来の斑晶の An 成分がより高くシフトしている。噴出時期はカルデラ形成後の早い時期か, Ma-e 層堆積と同時期のものかはわからない。約 4000 年前に降下軽石及び火砕流(Ma-d 層: $\text{SiO}_2=63.9-69.4\text{wt.}\%$)が噴出した。このデイサイトマグマは摩周火山の爆発的噴火を引き起こしたマグマの中で最も SiO_2 に乏しい。Ma-d 層の火砕物に含まれる多くの斜長石は, An 成分が $\text{An} > 80$ と高い特徴がある。カムイヌプリ西側溶岩($\text{SiO}_2=54.5-61.6\text{wt.}\%$)は斜長石の多くが $\text{An} > 78$ と高く, Ma-d 層の噴火時期の後期に噴出したものであろう。マグマ混合の痕跡を残していないため, 苦鉄質端成分マグマの可能性もある。カムイヌプリ北側溶岩は Ma-c 層噴出の時期(2500 ~ 1500 年前)に対比できる。

(4) カムイヌプリ最新噴火(1 0 0 0 年前)では, これまで Ma-b1 から Ma-b5 までの一連の噴出物が認識され, 岸本他(2009)では Ma-b5 に先行する噴出物を Ma-b6 として区分した。今回, 摩周カルデラの南西方で Ma-b 噴出物の新たな露頭を見出し, 詳しく区分した(図 4 A)。Ma-b4 の段階で火砕流が噴出したことが明らかとなった(図 4 B)。この 1000 年前噴火で直径 1.5km のカムイヌプリ山頂火口ができたが, Ma-b5 の最大規模の噴火後, Ma-b4 の火砕流噴火で火口が広がったと思われる。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) : 和田恵治(2017)北海道東部のテフラ: 特に摩周火山の形成史の検討。国際火山噴火史情報研究会講演要旨集, 2016-2, 81-82.

Sato, E. and Wada, K. (2017) Eruption history of Akanfuji in the Me-akan volcano, eastern Hokkaido, Japan. Proceedings of the International Meeting on Eruptive History and Informatics, 2016-2, 83-88.

佐藤鋭一・和田恵治(2016)雌阿寒岳, 阿寒富士の噴火活動とマグマ供給系。日本火山学会 2016 年度秋季大会講演予稿集, P19。

藤木利之・和田恵治・佐藤鋭一・奥野 充(2017)北海道のコア試料の花粉化石およびテフラ分析: 火山噴火の植生へのインパクトと回復プロセス。国際火山噴火史情報研究会講演要旨集, 2016-2, 77-80。

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

和田恵治* 北海道教育大学旭川校 教授

佐藤鋭一 神戸大学・大学教育推進機構 助教

他機関との共同研究の有無: 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名:

電話:

e-mail:

URL:

(11) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名: 和田 恵治

所属: 北海道教育大学・旭川校

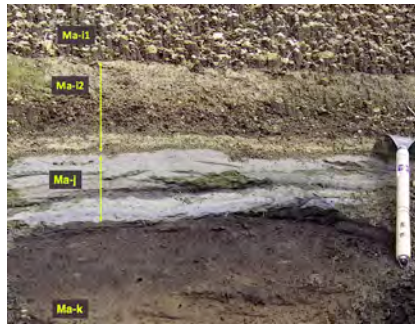


図 1. 摩周カルデラ南東方の Ma-i, Ma-j, Ma-k の露頭写真

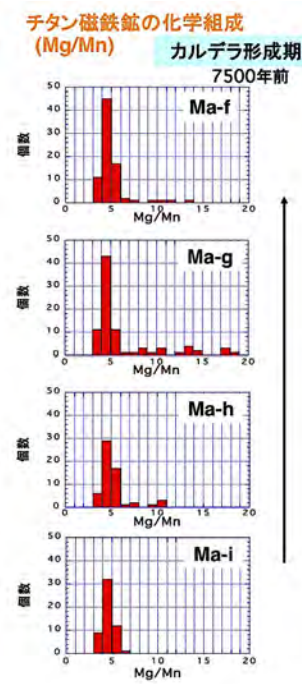


図 2. 摩周カルデラ形成期噴出物中の磁鉄鉱の Mg/Mn 比のヒストグラム

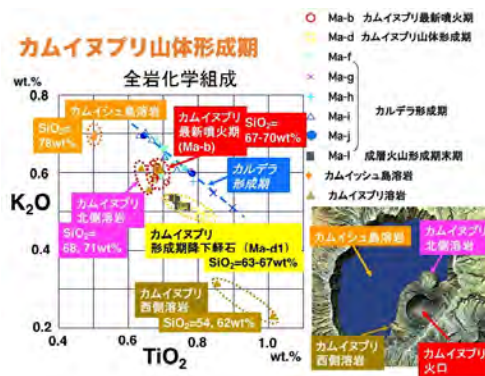


図 3. 摩周火山カルデラ形成期及び後カルデラ期噴出物の全岩化学組成



図 4A. 摩周カルデラ南西方の Ma-b の露頭

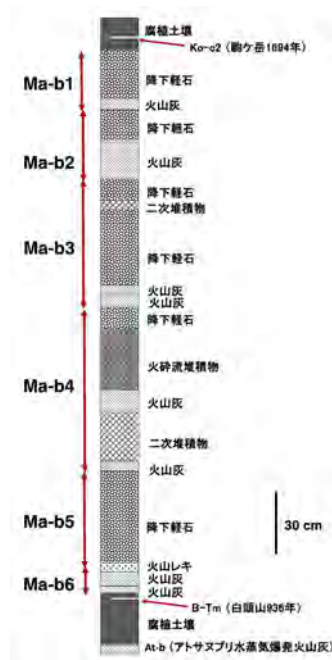


図 4B. 図 4A. 露頭の柱状図

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

富山県弥陀ヶ原火山・地獄谷内での高精度地形測量と水準測量による地盤変動と表中温度の計測モニタリング

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

(1) 弥陀ヶ原火山・地獄谷内の地殻変動の観測

2007 年から 2010 年にかけて InSAR の解析により、弥陀ヶ原火山・地獄谷で観測された 4cm/yr の膨張性地殻変動は、2015 年には同手法により検出されなくなっている。InSAR の観測では、cm オーダーの変位量は観測可能であるが、mm オーダーの変位の検出は難しい。そこで、地獄谷内で水準測量とレーザー・スキャナ測量を実施し、2007 年から 2010 年に InSAR で観測された地殻変動が継続しているかどうかの確認を行う。第一回目の水準測量とレーザー・スキャナ測量は 2015 年に実施している。

(2) 弥陀ヶ原火山・地獄谷内の地中温度計測

地獄谷内で噴出している火山ガスの温度変化は、これまで多くの計測結果が発表されている。しかしながら、地中温度やその連続観測はほとんど行われてきていない。火山活動のモニタリングでは、火山ガスの温度とともに、地中の温度分布やその時間変化は重要な情報であるため、地獄谷及びその周辺に観測点を 10 点設置して計測を実施する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

本年度は、図 1 に示される水準点(黄丸)にて水準測量を実施し、赤丸位置にて地中温度計測(地表面下 50 cm)を行った。また、水準路線を囲むようにレーザー・スキャナを用いた高精度地形測量を実施した。

本地域は、中部山岳国立公園の一部であるため、水準点の設置には環境省と富山県から工作物設置の許可を必要とする。この手続きを踏んだ後、現在立入禁止になっている地獄谷内の遊歩道(図 1 に示される白線上)に水準点を設置した。水準点は 2015 年に約 50 m 間隔で 20 点設置し、一回目の測量を同年 9 月に実施した。地獄谷での水準測量は頻繁に行えるものではないため、季節変動の影響を抑える目的もあり、本年(2016 年)の測量も昨年と同じ 9 月に実施した。このとき、2015 年に設置した水準点 20 点のうち、9 点(BM 4、9、11、12、13、15、16、17、19)が消失していた。したがって、2016 年の水準測量は、図 1 の黄色い丸 11 点で実施された。

図 2 は、水準点 1 番(BM1)を不動点としたときの地獄谷内の地盤変動である。この図から、BM7、8、10 に顕著な隆起が生じており、特に BM8 ではその変位量が 13 mm に達していることが分かる。これ

らの点以外では沈降が観測されており、BM20では4 mmの沈降が観測された。2015年と2016年の水準測量の標準偏差は、それぞれ0.858 mmと0.365 mmであったため、観測されたこれらの変動は有意である。

今回観測された変動のうち、BM7と8の隆起は顕著である。BM8付近では、現在、硫黄ドームの形成と崩落が繰り返されており、ガスの噴出も活発である。Seki et al. (2015)により推定された比抵抗構造と比較すると、この顕著な隆起域は、火山性ガスを溜められるキャップ構造の縁に位置している。今回観測された変動の波長が短いことと、現在の地表での噴気活動をあわせると、変動源は、地下浅部のガスの過剰圧変化であろうと思われる。

2015年と2016年に実施したレーザー・スキャナによる地形測量データでは、水準測量結果と調和的な変動が検出された。すなわち、BM7-8付近が隆起地域で、BM14-20付近が沈降地域として観測された。レーザー・スキャナ測量は、地形を面的に計測するため、地獄谷のような変動地域では、変動とその特徴を面的に捉えることができる。

図1中の赤丸地点(T1-T10)で実施された地中温度計測では、T6点の温度が最も高く、83 °Cであった。二番目がT2の46 °Cであり、三番目がT3の約37 °Cであった。他の地点では12 °Cから23 °Cの間に分布することが分かった。

今後もこれらの計測を継続し、火山活動の基礎データの蓄積に努める。

参考文献

Seki, K., Kanda, W., Ogawa, Y., Tanbo, T., Kobayashi, T., Hino, U., and Hase, H., 2015. Imaging the hydrothermal system beneath the Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan: implications for structures controlling repeated phreatic eruptions from an audio-frequency magnetotelluric survey, *Planets and Space* (2015) 67:6

(8) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

楠本成寿* 富山大学大学院理工学研究部 准教授
渡邊 了 富山大学大学院理工学研究部 教授
石崎泰男 富山大学大学院理工学研究部 准教授
早川裕弐 東京大学空間情報研究センター 准教授
他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :
電話 :
e-mail :
URL :

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 楠本 成寿
所属 : 富山大学大学院理工学研究部

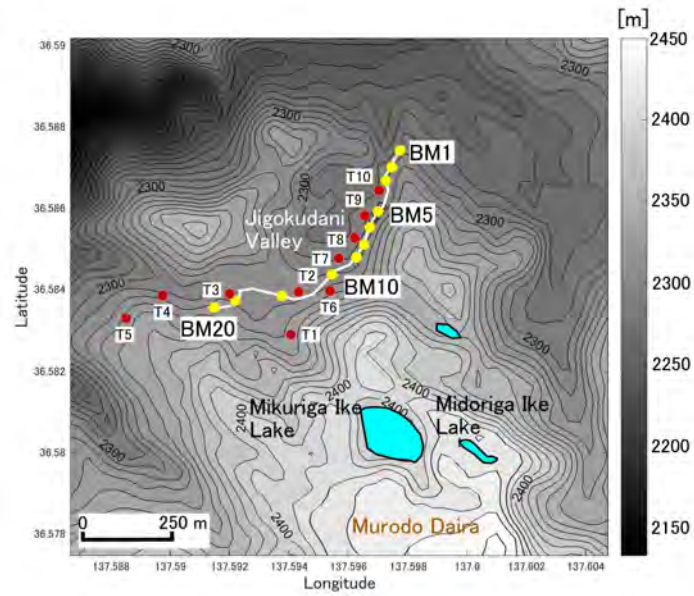


図 1

観測点の位置分布。黄色の点が水準点であり、白線がこれらをつなぐ水準路線である。赤色の点は、地下 50 cm での地中温度を計測した地点である。

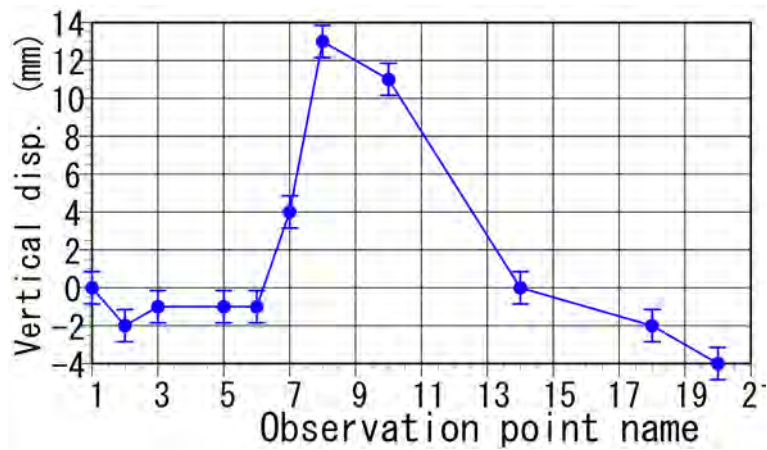


図 2

水準点 1(BM 1) を不動点と仮定したときの水準点の変動。横軸は水準点番号であり、点と点の間隔は約 50 m である。縦軸は鉛直変位量であり、単位は mm である。エラー・バーは、2015 年測量時の標準偏差 0.858 mm である。13 mm に及ぶ顕著な鉛直変位が BM8 で観測された。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

草津白根火山の完新世噴火履歴の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

(1) テフラ層序調査による草津白根火山の活動度の評価

白根火砕丘周辺を中心に、草津白根山全体の表層の詳細なテフラの分布調査を行う。従来は比較的規模の大きい噴火堆積物のみが記載されているため、小規模な手彫りトレンチ調査および重機による掘削調査を行い、極小規模～小規模噴火堆積物の洗い出しを行う。各噴出物(テフラ)については層相の解析を行い、それらを形成した噴火の様式を特定する。また、テフラ中の材やテフラ層間の黒土を採取し、それらの放射性炭素年代に基づき各テフラの堆積年代を決定する。

(2) 白根火砕丘群噴出物の層序調査と岩石学的解析

平成 26 年度の公募研究では、本白根火砕丘が複数の火砕丘から構成されること、各火砕丘が固有の全岩組成をもつこと、山麓テフラの一層(12L 火山砂層)が本白根火砕丘を構成する火砕丘の一つ(鏡池火砕丘)と対比され、それらが約 5000 年前に形成されたことなどが明らかになっている(濁川・他、2014)。そのため、本年度は、現時点で調査が十分ではない白根火砕丘群とその南麓に位置する弓池マールにおいて、噴火堆積物の層序解明と全岩組成データの充実を図る。特に全岩組成分析については、火砕丘群の活動初期に噴出した平兵衛池溶岩と香草溶岩について重点的に行う。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度「公募研究」では、以下のような成果を挙げる事ができた。

(1) 湯釜火口の南東約 2.5 km 地点に位置する殺生河原には、草津白根火山の山頂域で発生した比較的規模の大きな噴火のテフラがほぼ全て保存されており、本火山の噴火履歴を解明する上で最も重要な露頭となっている(早川・由井、1989)。特にこの露頭に産する火山砂層(下位から、7L、8L、9L、12L 火山砂層)は、山頂域に分布する 2 つの火砕丘群(本白根火砕丘群と白根火砕丘群)の形成時に堆積したテフラ層と考えられ、その堆積年代を決定することが火砕丘群の形成史を編む上での鍵となる。12L 火山砂層については、既に我々の研究により、本白根火砕丘群鏡池火砕丘由来のテフラであることが明らかにされている(吉本・他、2013; 濁川・他、2016)。本研究では、その下位の 8L 火山砂層と 9L 火山砂層の間の土壌の 2 層位から炭化材を採取し、放射性炭素年代を測定した。その結果、

9L 火山砂層の直下付近の土壌より採取した炭化材からは 7.88-7.73 cal. ka BP、8L 火山砂層と 9L 火山砂層の間の中位付近の土壌より採取した炭化材からは 9.70-9.54 cal. ka BP の年代(暦年) が得られた。これらの年代値から、9L 火山砂層が約 7800 年前頃の噴火で堆積したこと、約 10000 年前には山頂域でマグマ噴火による火砕丘の形成が始まっており、山麓に 7L と 8L 火山砂層を堆積させていたことが明らかになった。

(2) 白根火砕丘群山麓の 5 地点で手掘りトレンチによるテフラ層序調査を行った。湯釜火口南方 900 m 地点でのトレンチ調査では、最近の水蒸気噴火に由来すると考えられる 6 層の白色粘土質テフラ層を確認した。テフラ層に挟在する土壌 2 試料の放射性炭素年代を測定したところ、最上位のテフラ層直下の土壌から 1880-1915 cal. AD、上から 4 層目のテフラ層直下の土壌から 892-986 cal. AD という年代値(暦年) が得られた。これらの年代値から、最上位のテフラ層が明治 15 年噴火(1882 年噴火) のテフラ層であること、また、約 1100 年前頃には既に白根火砕丘群が水蒸気噴火の活動期に入っていたことが明らかになった。また、これらの 6 枚のテフラ層には変質鉱物としてスメクタイトが特徴的に含まれており、いずれの水蒸気噴火も発生深度(爆発深度) が比較的浅かったと推測される。

(3) 東京工業大学草津白根火山観測所の流体観測井工事により掘削されたトレンチ(湯釜火口の東方 750 m) において、噴出物層序調査を行った(第 1 図)。トレンチ断面には、土石流堆積物を基底として、その上位に少なくとも計 20 層の噴火堆積物が確認できた。噴火堆積物の多くは、粗粒な火山弾やラピリが主要な構成物となっており、白根火砕丘群を構成するプロキシマル堆積物と解釈される。本トレンチで見られる特徴的な噴火堆積物としては、中位部に見られる層厚 40 cm の白色粘土質テフラ層(KSE-W) とその上位 17 cm に見られる層厚 18 cm の黒色サージ状堆積物(KSE-B) が挙げられる。前者は、複数枚のラピリ層を挟在するという特徴的な岩相をもっており、今後、白根火砕丘群に由来するテフラ層の対比を行う際に鍵層として用いることができる。また、火砕サージ状堆積物は、本質物の全岩組成と記載岩石学的特徴が弓池マール(活動年代不明) の本質物のものと一致するため、弓池マールを形成したマグマ水蒸気噴火による火砕サージ堆積物である可能性が高い。なお、本年度のトレンチ調査では、掘削地点が湯釜火口近傍の裸地であったためか、テフラの堆積年代の決定に使えるような黒土や材試料を採取できなかった。次年度には、弓池マールの近傍の黒土の発達した地点で大規模トレンチ調査を行う予定であり、サージ状堆積物の上下の黒土の放射性炭素年代測定を行い、弓池マールの形成年代を決定したい。

(4) 白根火砕丘群の活動初期に噴出した 2 枚の溶岩流(平兵衛池溶岩と香草溶岩) の全岩化学組成の分析を行い、我々のこれまでの研究で得られている白根火砕丘群構成物(水釜溶岩ドームと濁釜溶岩) の全岩化学組成と比較した(第 2 図)。その結果、平兵衛池溶岩と香草溶岩、水釜溶岩ドームと濁釜溶岩が、それぞれ固有の直線的な組成変化トレンドをもつことが明らかになった。これらの 2 つの組成変化トレンドは、デイサイト組成で収束し、全岩 SiO₂ 量の減少に伴い発散するという特徴をもつ。記載岩石学的特徴からは、各溶岩の成因にデイサイト質マグマと苦鉄質マグマ(おそらく玄武岩質安山岩質マグマ) の混合が重要な役割を果たしていることが推測されるため、全岩化学組成で見られる直線的組成変化トレンドはデイサイト質マグマと苦鉄質マグマのマグマ混合線と解釈される。このような全岩化学組成の特徴から、白根火砕丘群の地下には長期にわたり規模の大きなデイサイト質マグマ溜りが存在し、そこに組成の異なる少なくとも 2 種類の苦鉄質マグマが順次注入・混合することで、各マグマ噴火が発生したと推測される。

- (8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
亀谷伸子、石崎泰男、濁川暁、吉本充宏、寺田暁彦、上木賢太、2016、草津白根火山の完新世噴火履歴、日本火山学会講演予稿集、150 .
濁川暁、石崎泰男、亀谷伸子、吉本充宏、寺田暁彦、上木賢太、中村賢太郎、2016、草津白根火山本白根火砕丘群の完新世の噴火履歴、日本地球惑星科学連合大会予稿集、SVC48-11 .

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

石崎泰男* 富山大学大学院理工学研究部 准教授
吉本充宏 山梨県富士山科学研究所 主任研究員
寺田暁彦 東京工業大学火山流体研究センター 講師
他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

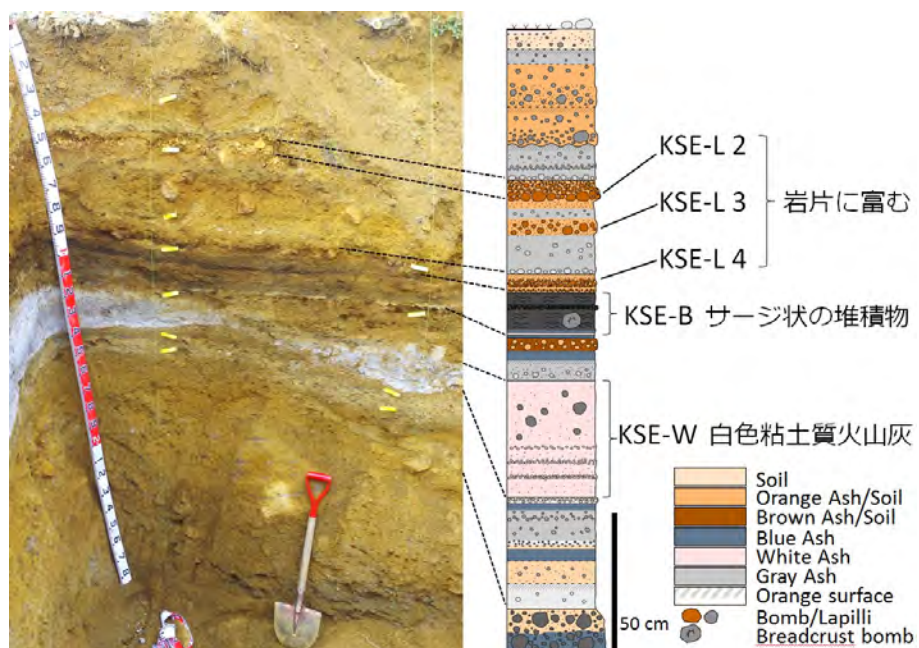
e-mail：

URL：

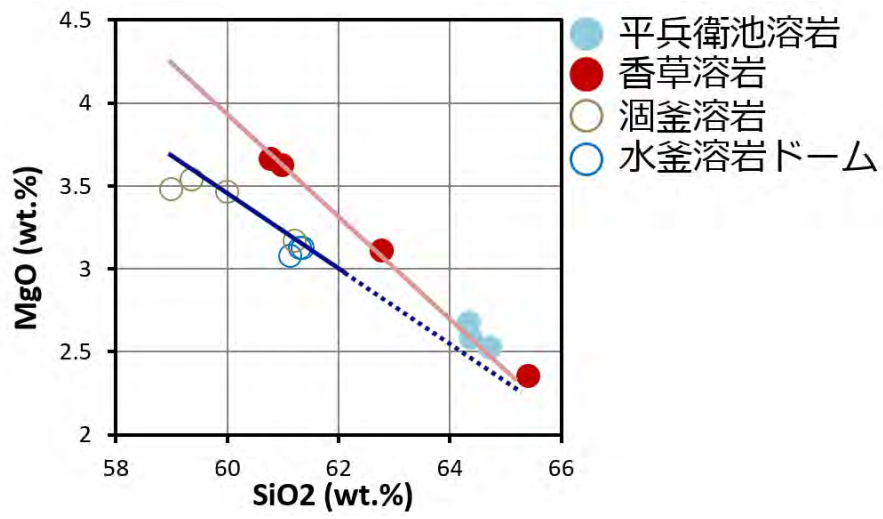
(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石崎 泰男

所属：富山大学・大学院理工学研究部



第1図 トレンチ孔の写真と柱状図



第2図 白根火砕丘群構成物の MgO-SiO₂ 図

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震先行 VLF 帯電磁波強度減少の統計的評価と発生メカニズムの解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

3 年計画で下記の 3 つを予定しているが、下記の 3 つの項目のうち前者 2 つを中心に平成 28 年度は研究を実施する。

VLF 帯電磁波強度減少時の雷発生の統計的評価

Nemec et al (GRL, 2008) の追解析の最終段階として、背景 VLF 帯電磁波強度の減少が対流圏落雷数に依存するかないかを調べ、統計的に D 領域の電子密度の増加が強度減少の原因であることを示す。

DEMETER の VLF 帯波形データの解析

電波強度減少を発生させている D 領域の電離圏変動のサイズおよび電子密度の算出を行う。D 領域内のプラズマ物理量連続測定は、地上観測とロケット観測を組み合わせても不可能であり、人工衛星でも高度が低すぎることから不可能なため、D 領域観測は古くから電離圏研究の大きな課題となっている。本研究では、対流圏で断続的に発生している落雷に着目し、衛星高度で取得できる落雷起因の電磁波、ホイスラーモードを調べる。ホイスラー波には、電離圏内伝搬経路の情報が含まれていることから、VLF 帯波形データのモード解析および地上落雷データから D 領域の電離圏変動のサイズおよび電子密度を見積もれる。DEMETER の VLF 帯データの殆どはスペクトルデータであるが、地震活動が活発な領域だけは波形データが取得されている。これらのデータを使いホイスラー波を調べる。

他の衛星の類似データを用いて解析

磁気圏観測衛星 CLUSTER2 衛星および FREJA 衛星の VLF 帯電場データを用いて、同一手法で解析を行う。ただし、これらの 2 衛星は、軌道高度が変化する楕円軌道であるため現象の高度依存性について検証できる可能性がある。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度の計画のうち 1) サーベイデータ(全球で連続測定されているローサンプリングデータ) を用いた統計的解析、2) パーストデータ(地震活動度が高い地域のみ VLF 帯波形が含まれるハイサンプリングデータ) を用いた事例解析を実施した。

1) サーベイデータ解析

DEMETER 衛星により M が 4.8 より大きな地震(本震のみ、余震は除去) が震央距離で 550km より小さな距離で発生した 537 個の地震について直前(地震発生前の 4 時間) について VLF 帯電磁波強度の減衰に関する解析を行った。これらの減衰現象は Nemec et al. (2008; 2009) や Pisa et al. (2013) で

報告されているが、我々は彼らとは異なる統計処理を適用し、その結果を独立に検証することとした。結果として、今回実施した新しい統計解析手法でも、彼らの結果を支持する結果が得られた。また先行現象が含まれる衛星軌道の電場データを重ねあわせをすると地震最接近の時刻で平均強度が減少していることを示した(図1)。

さらに今回の研究では、電磁波強度の減衰の物理メカニズムについて考察を行った。このために、DEMETER衛星で得られたホイスラー波と全世界の雷活動データ(World-Wide Lightning Location Network; WWLLN)との比較(図2)を実施した。その結果、大地-電離層導波管伝搬のカットオフ周波数の変化だけでなく、電離層のD層における電子密度増加による吸収も寄与している事が判明した。

2) パーストデータ解析

事例解析の結果、地震前の震央付近において、エネルギーに対するホイスラー波強度が地震とは関係のない時のホイスラー強度よりも5~10 dB程度小さいことがわかった。それは、震央付近を通過する伝搬経路において吸収された量だと推測される。衛星で計測されるフラクショナルホップホイスラー波の吸収は高度90~200 kmで支配的であるため、地震前の震央付近上空においてその高度領域の電子密度が増加することによって通常よりも大きな吸収が引き起こされたと考えられる。さらに高度90~200 kmの電子密度を増加させることによる伝搬経路シミュレーションでは、地震とは関係のない時との吸収量の差異が5~10 dBとなるのは電子密度増加率が数十パーセントとなることが分かった。したがって、Nemecらによって報告された地震に先行した夜間VLF帯電磁波強度減少は電離圏下部で引き起こされる減少だと示唆される。この電子密度上昇がどのようにして引き起こされるかについてはさらなる研究が求められる。

(8) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

Togo S. and M. Kamogawa, Ionospheric earthquake precursors on satellite measurement: physical features and predictability, In Proceedings of the International Workshop Earthquake Precursor, Taiwan, 16 May 2016.

Nitta, H., S. Togo, T. Kodama and M. Kamogawa, Physical mechanism of pre-seismic VLF intensity decrease observed by DEMETER satellite, In Proceedings of the CSES workshop, China, 23 August 2016.

新田英智, 東郷翔帆, 鴨川仁, 児玉哲哉, 長尾年恭, DEMETER衛星のVLF帯電場データによる地震先行電離圏擾乱の統計的研究, 地震予知学会 第3回学術講演会, 2016年12月22日

新田英智, 東郷翔帆, Jean-Jacques Berthelier, 児玉哲哉, 長尾年恭, 鴨川仁, DEMETER衛星の連続サンプリングVLF帯データを用いた地震先行電離圏擾乱の統計的研究, 大気電気学会 第95回研究発表会, 2017年1月17日

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

鴨川 仁* 東京学芸大学教育学部 准教授

児玉哲哉 宇宙航空研究開発機構研究開発部門第一研究ユニット 主任研究員

東郷翔帆 東京学芸大学大学院・教育学研究科 大学院生

新田英智 東京学芸大学大学院・教育学研究科 大学院生

他機関との共同研究の有無: 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名:

電話:

e-mail:

URL:

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：鴨川 仁

所属：東京学芸大学・教育学部

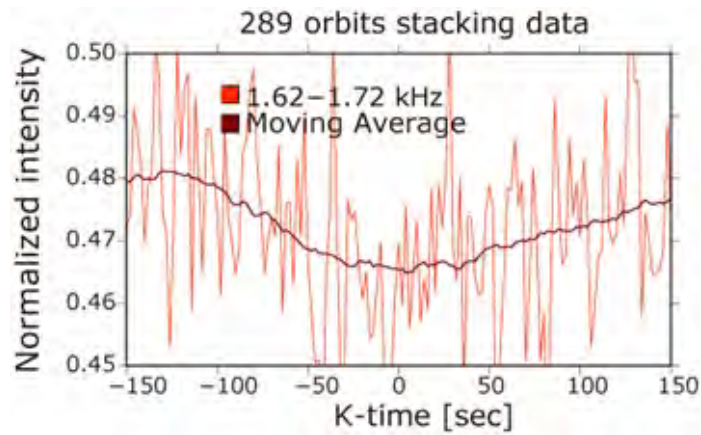


図1 統計的に地震先行的変動がみられた 289 軌道の軌道上電場データの平均値。太実線は ± 50 秒の移動平均。横軸は地震最接近時間を 0 とした軌道上時刻。

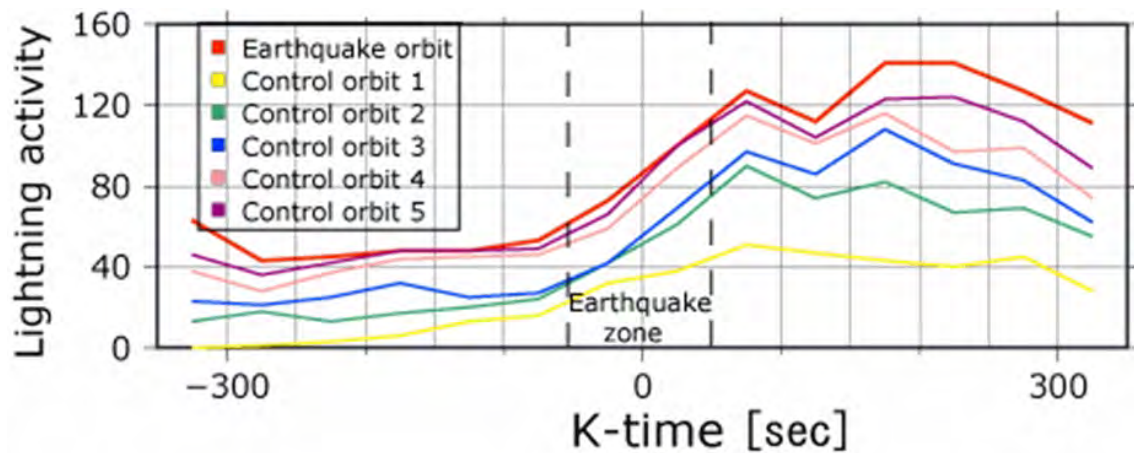


図2 衛星から半径 1000 km 以内の落雷数を先行的変動が顕著に見えた 30 軌道において積算したもの。この 30 軌道と類似した 30 軌道(コントロール軌道)についても 5 セット同様な積算を行った。縦軸は WWLLN での落雷数、横軸は図 1 と同じである。地震軌道、コントロール軌道いずれも地震最接近時刻においては落雷数は変化していない。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

旧気仙郡地域における歴史地震・津波に関する災害史料の収集とデータベース化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本研究は、岩手県沿岸部で発生した歴史地震・津波の情報について、特に旧気仙郡地域、現在の岩手県大船渡市・陸前高田市をフィールドとして、この地域に存在する災害史料の所在調査の実施と、これらの災害史料を解読して同地域における歴史地震・津波の詳細な情報を得ることを目的とする。歴史資料の状況調査としては、『仙台領気仙郡その他 古文書解読文表題類聚』といった気仙郡の郷土史研究者の調査成果に基づき、史料所蔵先を訪問調査し、被災の有無や内容の調査をおこなう。また、釜石市唐丹地区に残されている旧唐丹村役場の文書群が未整理であるため、これについての整理・デジタルカメラ撮影といったデータベース化作業を実施し、分析を進める。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度の調査では、東日本大震災による歴史資料の被害状況の調査について、地元郷土史家がかつて調査した古文書所蔵者のリストを手がかりとし、大船渡市盛地区・大船渡地区で実施した。その結果、大船渡地区においては古文書所蔵者 7 件の流失を確認した。古文書の存在を確認できたのは 5 件、うち 2 件では従来把握されていた以外にも新たな古文書群が存在することを確認した。新出史料のデータ化・分析としては、釜石市唐丹地区の旧唐丹村役場文書について、東北大学災害科学国際研究所において文書の整理・目録化とデジタルカメラ撮影を実施した。唐丹村役場文書の史料群には、大正 2 年から唐丹村が釜石市に合併する昭和 30 年までの文書群があり、総点数は 550 点にのぼり、特に 1933 年に発生した昭和三陸地震津波に関係する史料が多数含まれており、昭和三陸津波前後の村会会議録、災害復旧工事の契約書類綴りなどが含まれており、当時の町村レベルでの被災後の対応を知ることができる。

昭和 8 年の唐丹村村会会議録には「臨時海嘯復興委員」と呼ばれる名誉職の推薦、政府所有米払下げ、罹災農家の農具購入・納屋新築に関する助成、住宅適地造成や簡易水道など各種復旧事業に関する決議の様子が記録されている。また、昭和 8 年 7 月 23 日開会の第 11 回村会では、各部落間を連絡する私設電話の開設、避難道路の設置の諮問が行われたうえ、いずれも承認されており、津波被害を教訓とした対策が実施されていたことが分かる。その他、住宅適地の造成に際して、地主との交渉が

進捗しない場合には、やむを得ず土地収用を行うことを承認する答申があり、当時の唐丹村でも住宅適用地の確保が容易でなかったこと、土地収用を行ってでも早期に住宅適用地を準備する姿勢があったことがうかがい知れる。このほか、この史料群の中には昭和三陸津波後の災害復旧工事関連の記録や当時の集落地図も複数含まれており、これらをもとに唐丹村が津波の被害からどのように復旧・復興し、今後さらなる調査を展開することで、集落を再形成していったかを地図上に復元することが可能となる。

(8)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名 :

蝦名 裕一 東北大学・災害科学国際研究所
他機関との共同研究の有無 : 無

(10)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

(11)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 蝦名 裕一

所属 : 東北大学・災害科学国際研究所

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

古地震のウェブを目指して～GIS 機能をもったポータルサイトの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

古文書、古地図、絵図、石碑、写真などの歴史的資料のウェブ化が達成できれば、古地震学をはじめとして、歴史学、歴史地理学などに革命が起きることは関係する研究者の誰もが認識するところである。いっぽうで、全国各地に、古文書の翻刻あるいは解読に興味をもち、能力と意欲を備えたグループが多く存在する。彼らの貢献により、史料の解読が飛躍的に進む可能性があるが、実際の翻刻、解読の活動は、近隣の大学等の専門家が協力するなど、例外的に条件が整った場合に限定されている。

この状況は、ウェブで情報発信をしたいという人々が多く存在しながら、それを容易に実現できる一般ユーザが使える技術のなかった「ブログ登場以前の WWW の状況」に似ている。本研究は、古地震およびこれに関する歴史資料のウェブ実現のために、ブログや WEB2.0 にあたる社会的・技術的方式を生み出すことを最終的な目的とする。

研究代表者の林は、長年、史料分析用ツール SMART-GS の開発を続けている。これは、IT 利用の人文学(デジタルヒューマニティ)のためのツールであり、「倉富勇三郎日記翻刻プロジェクト」や、歴史学者でもある林の京都学派の思想史研究などの重要な歴史研究プロジェクトで実際に使用され大きな歴史的成果を生み出している。本研究では、これまでのプロジェクトで蓄積した技術とソフトウェアを用い、研究代表者林が構想してきた「古文書のウェブ」を古地震学に応用し、実現することを目指す。

近年、歴史資料の WEB アーカイブが次々と発表されている。古地震学においても、東京大学地震研究所の図書室によって、地震史料集を含む画像アーカイブが公開されている。それぞれの資料を WEB ページととらえれば、これは古文書の WWW とも考えることができる。しかし、現在の WWW とこのような「古文書 WEB」を比較すると、後者には、前者のもつ「検索可能性」と「多数のボランティアな情報提供者の存在」が欠けている。このふたつの特徴を欠いた古文書 WEB が、WWW に匹敵するような意味を人文学や地震学にもたらすとは考えにくい。

もし将来的に古文書、石碑なども容易に検索できるようになれば、研究者のみならず、社会の側でも過去の災害履歴に基づいた災害対策を考える助けになる。その際には、それがどの場所での情報であるかも含めて検索できると効果的である。また、古文書の解読に興味をもつ一般の人々が地震史料の解読に参加できる機会を IT 技術によって用意し、多数の情報提供者を得る。ここで、古文書の解読に

興味を持つ層は、古文書には親しんでいても、必ずしも IT 技術に慣れ親しんでいるわけではないと考えられることから、デジタルヒューマニティズ(人文情報学)を活用したツールの開発が必要になる。

本研究では、次の2点を具体的な目標とする

(1) SMART-GS への地図情報の統合

(2) 若者から高齢者まで無理なく利用できるポータルサイトの開発

(1)では、史料の記述と地図上の位置を関連づける機能をこのツールは、林研究室の大学院生、橋本雄太が作成している mini SMART-GS などブラウザ上で WEB サービスとして利用可能な JavaScript ツール、京都大学防災研究所で公開している CMS ベースの古文書翻刻公開システム、GoogleEarth のような web GIS 技術、および SMART-GS などのコードを利用して構築する。汎用性を考慮して、すべて JavaScript で開発を行う予定である。

(2)を実現するためには、高齢者などの IT 弱者に「敷居」を意識させないような直感的なインターフェイスを用意するとともに、若者にも親しみやすいものとする必要がある。昨年度公開したポータルサイトをベースに内容の充実をはかる。

以上で説明したシステムは、技術的には既存技術の組み合わせであり、「やればできる」ものである。本研究のポイントは個別技術の開発ではなく、既存の技術を組み合わせて、いかに多くのひとにいつでも使ってもらえるサービス、ツールを組みたてるか、ということである。そのため、これらの開発に際しては、常に想定される使用者に実際に使ってもらい、その意見を開発にその都度反映させることとする。京都大学およびその周辺において古地震史料を題材に古文書解読講座をひらき、試用の活動とする。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

地図情報を統合した古地震研究ポータルサイトの作成のために、web GIS ソフトウェアの検討をおこなった。

昨年度作成したポータルサイト (<http://kozisin.info/>) のコンテンツの充実をはかった。

市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」(<http://honkoku.org/>) を公開した。このプロジェクトでは、当面のところ、東京大学地震研究所が所蔵する石本文庫の 114 点の史料の全文翻刻を目標としている。

おおむね計画どおりの進捗である。みんなで翻刻は、計画提出後に具体化したものである。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

加納靖之・橋本雄太・中西一郎, 2017 「みんなで翻刻」市民参加型のクラウド翻刻 web アプリの公開, 日本地震学会ニュースレター, 69, NL-5-48.

加納靖之, 2017, 古地震学とくずし字解読, アプリで学ぶくずし字 くずし字学習支援アプリ KuLA (クーラ)の使い方, 飯倉洋一(編), 笠間書院, 92 pp.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

林 晋* 京都大学大学院文学研究科 教授

橋本雄太 京都大学大学院文学研究科 大学院生

加納靖之 京都大学防災研究所 助教

中西一郎 京都大学大学院理学研究科 教授

他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：古地震研究会

電話：

e-mail：

URL : <http://kozisin.info/>

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 林 晋

所属 : 京都大学・大学院文学研究科



みんなで翻刻のトップページ

<http://honkoku.org/>からログインできる .

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

史料を用いた、雲仙寛政噴火と眉山崩壊の推移の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料、考古データ、地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本課題では、H28 年度 1 年間で、新収日本地震史料・同補遺別巻・拾遺に収録された史料を精査(所蔵館で原史料を閲覧(撮影)することも含む)するとともに、新史料の発見に努める。これらの史料を地震活動・津波災害の視点だけでなく、火山活動の推移と崩壊過程の理解にも焦点をあてて解析・解釈することに主眼を置く。史料の閲覧(撮影)、収集には、長崎市歴史文化博物館、諫早市立図書館、島原史料館、福岡県立図書館、九州大学、熊本県立図書館、熊本大学、永青文庫(東京)を中心に行い、解析と解釈を行う。史料の解読・翻刻・編集は代表者の津久井が主に行うが、難解な部分は、古文書の専門家に協力していただき進める。

崩壊前年、旧暦十月ころの地震発生時から、崩壊時、その後の見分、支援までを研究対象とする。ただし、山体崩壊現象の発生が、夜間であったことから目撃証言等は限定的であることが既に知られていることから、発生時に関しては、地震・震動・音、臭気等の情報からの復元作業が中心になることが、予想される。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

長崎県(長崎歴史文化博物館、島原市松平文庫、諫早市立図書館、大村市立史料館)、佐賀県(佐賀県立図書館、佐賀大学、多久市郷土資料館)、福岡県(九州大学、久留米市立図書館)のほか国会図書館、国立公文書館、東京大学、筑波大学などで原史料の複写・撮影を行った。既に活字化された史料も多いが、改めて確認するとともに新たな史料の分析を進め、検討を続けている。

史料の数と量が、多いため収集と整理に時間を要しているが、史料の記録地(観測点)が九州内の広い範囲にわたっているため、史料の成り立ちと、信頼性を吟味した上で整理し、噴火前・噴火時に発生した地震の震源位置・規模の変化と噴火推移の再検討し、より詳しく解明する作業を進めている。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

津久井 雅志 千葉大学・大学院理学研究科

他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名 :
電話 :
e-mail :
URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
氏名 : 津久井 雅志
所属 : 千葉大学・大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

包括的なハザード情報を活用した個人の避難計画策定支援データベース

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本研究では、理学や工学における防災・減災にかかる研究成果を一元的なデータベースで継続的に管理し、個人がそれらを参照し、自身・地域の避難にかかる防災マップをはじめとする、防災・減災行動の計画策定を可能とする支援ツールの開発と実装を目指す。これらのツールは、ウェブサービスとして構築し、いつでも、どこからでも利用可能とする一方で、他者との共有を通して「近隣や類似の地域で、どのようなことを考えているか」を学ぶことのできる環境として整備し、社会発信を実現することを目的とする。

平成 28 年度には、包括的なハザード情報を個人の避難計画策定支援につなげるべく、ハザード情報を個人での分析可能な状態として、データベースの形で整備を始める。データベースの設計ならびに空間情報として扱うデータベース実装を進め、地震研究所を中心とする関係機関から収集されるハザード情報のうち、地震を中心に整理・格納する。その後、津波や火山、その他の災害への展開を想定し、共通のフォーマット化およびハザードごとに異なる項目の整理等を進め、包括的なハザード情報の格納方法を追究する。

次に、個人単位で避難を検討するにあたり、その検討過程をモデル化し、アプリケーションとしての設計・開発を実施する。これは、ハザード情報のみならず、地域が保有する特性(たとえば標高変化、過去の被害発生状況、地盤の脆弱性等)を取り込むことで、包括的な仕組みへと展開する。個人の利用シーンとしては、ハザード・リスク・地域特性を、個人にとっての最適な避難経路と重ねた地図を「個人版津波避難経路マップ」として、システム上で閲覧、操作を可能とする。

一方で、上述のアプリケーションをウェブ上に実装し、社会利用を通して、その評価を得る。個人がアプリケーションにアクセスし、閲覧者がどのデータを活用しているかと言った視聴率のようなログデータを収集・分析・可視化する。第一段階として、関係者のみでの閲覧にとどめ、度数・割合等の簡易的な統計処理による分析を実施する。その評価を受け、効果的な情報分析範囲を言及する。

本研究を継続実施し目指す姿は、これらのデータベースを含めたシステムを社会公開するとともに、関係機関でデータベースへのアクセスを可能とし、ハザード情報、地域の情報、さらには利用者のログデータ分析結果を、さらなる防災・減災研究に活用できる環境の整備である。ウェブ技術の1つである「API (Application Programming Interface)」として整備することで、他システムからの問い合わせに対し、必要な情報を的確に返答する仕組みとし、その利用価値を高めるものとする。平成 28 年度は、この最終的に目指す姿の第一段階として、基礎要件の分析とデータベースを活用したアプリのプロトタイプ版の開発を実施する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要 :

ハザード情報にかかる空間データベースの整備

本研究では、ハザード情報を個人の避難経路選定支援に活用するための基盤構築を目指している。その第一段階として、アプリケーションでデータ処理可能な空間データとして、GeoJSON 形式での情報管理を実施した。1つの事例として、新潟県で公表された津波浸水想定データを扱い、GeoJSON 形式で1つの空間レイヤーとして情報管理することで、後述の避難経路選定支援にかかる Web アプリケーションで、空間データ処理を可能とした。しかし、データ量が増大した場合には、データ読み込みに多くの時間を要することや、統合的な管理において不向きであることから、GeoJSON 形式で扱うべき情報項目を検討した上で、クラウド型の GIS データベース基盤に移行することとした。このクラウド型の GIS データベース基盤としては、米国の ESRI 社が提供する ArcGIS Online とし、研究代表者も学内に GIS サーバーを設置し、ArcGIS Online と連携する形でのデータ管理を推進した。

個人がウェブで操作可能な「避難経路選定支援ツール」の設計・開発

前述のハザード情報にかかる空間データを対象として、各個人がそれぞれの居場所から避難先としての目標を選定し、その経路上の地形条件やハザード条件を、利用者に提示するツールの開発を推進した。本ツールでは、第一段階として、GeoJSON 形式で管理されるハザード情報に対して、利用者が指定した避難経路と空間解析により重なり点を見つけ出し、利用者にアラート情報として提示するものとした。また、地震に起因する津波を想定すれば、避難経路上の標高差が重要となるため、利用者が選定した経路上の標高変化をグラフ表示した。このグラフはインタラクティブな操作を可能とし、グラフ上で標高が低い地点を見つけた場合、それを選択することで、地図上で可視的にどの場所であるかを示すよう機能を実装した。避難経路の選定においては、第一目標、第二目標を設定できるような機能を実装し、それらの目標値は施設名、住所であればジオコーディング技術を援用し、位置座標に変換することとした。また、地図上での直接操作により地点を設定できるようにした。経路検索については、時間コストを優先し最短経路で提示されるが、利用者が経路を地図上で自由に変更できるよう機能を実装し、プロトタイプ版として開発した。

ストーリー実装とクラウド版への展開

前述のアプリケーションのプロトタイプ版を開発し、限定的に公開したところ、目的を明確に有する利用者にとっては充実した機能であるものの、一般利用に対しては機能が複雑で、本ツールの意図が十分に伝達されないという課題が表出化した。そこで、たとえば利用者が居場所を指定すれば、その地域のハザード情報を提示し、利用者が家屋の情報を入力すれば、その建造物の条件から避難方針の可能性を提示し、利用者が属性を入力すれば、避難時間に対して重み付けを実施するような、利用者からの情報に応じて、アプリケーションから避難において留意すべき事項を提示するような、インタラクティブなストーリーの実装を推進した。これにより、より利用者の範囲を広げ、一般化を進めた。また、経路上のリスクとして扱うハザード情報においても、GeoJSON 形式で扱う場合は、アプリケーション管理者が指定したハザードのみに限定されてしまうことから、クラウド型の GIS データ管理を援用することとし、機能と基盤の拡張を推進した。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
関川貴大, 井ノ口宗成, 中野敬介, 複合災害を想定したクラウド版避難経路決定支援シナリオの実装, 電

子情報通信学会, 信学技報, vol. 116, no. 422, ICTSSL 2016-62, pp. 151-155, 2017.1.

Munenari Inoguchi, Takahiro Sekikawa, Keiko Tamura, "Developing a Web-Based Supporting Application for Individual Evacuation Plans Through Hazard Risk and Geographical Analyses", Journal of Disaster Research, Vol.12 No.1?pp. 6-16, 2017.2.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井ノ口宗成* 静岡大学情報学部 講師

鈴木進吾 防災科学技術研究所レジリエント防災・減災研究推進センター 主幹研究員

佐藤翔輔 東北大学災害科学国際研究所 助教

他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 井ノ口 宗成

所属 : 静岡大学・情報学部

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震及び津波による建物倒壊に伴う人的被害の発生機構解明並びに評価手法の提案

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本研究の対象は、地震動及び津波に伴う災害の内、特に人的被害に焦点を当てる。本研究の目的は以下のとおりである。

(1) 現状の人的被害評価式の問題点の洗い出しとあるべき評価式を検討する。

(2) 人的被害の新評価式の構築。特に負傷程度評価に災害医療関係で用いられている ISS 尺度を導入することで評価内容をより豊かに(死・重傷・軽傷の3分類ではなく、負傷内容・症状に踏み込んだ表現が可能)、被災プロセスを詳細に追跡するモデルを導入することで評価単位をより詳細に(市区町村単位ではなく、地域の250mメッシュ区画単位を標準とするが住家棟単位算定も可能)、さらに社会動態に基づく本邦の人口基盤変化が災害時に及ぼす影響のシナリオ評価を試みる。

(3) 提案式を具体的地域において被害評価を行い、新たな問題を提示する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

以下の成果を得た。

(1) 既往の人的被害評価式(内閣府中央防災会議の方法)の問題点洗い出し

既往の人的被害推定式は地域の建物被害数と人的被害数との相関関係に依っており、因果関係を考慮していない。そのため、式構成は単純で導入パラメータも少なく、死者数の算定には利用の便が高い。一方で、評価精度が低く、近年発生の内陸地震では過大評価となっている。また、現時点での状況(建物強さ、人口動態等の情報)に依拠した係数のため、社会の状況変化(特に、日本が抱える少子高齢化問題等)を見据えたシミュレーションは不可能となっていることなどの問題点を指摘した。

(2) 死傷程度評価尺度(ISS)を導入した新評価式の提案

地震動及び津波による死傷発生をシナリオ的因果関係で追跡するモデルを構築し、死傷者に関する死傷程度(ISS)の発生確率分布評価式として提案した。死傷因として建物倒壊・津波高を考慮することができ、建物倒壊に関しては建物の耐震特性を建築年や老朽化を考慮した耐震評点で与えることが可能であり、さらにその破壊状態により被災する室内空間を評価でき、それにより閉じ込め者の評価も可能となり、震動及び津波被災の精度向上が期待できる。加えて、評価式は居住者の年齢も加味しており、将来的人口分布の変化が死傷分布にどう影響するのかもシミュレーションが可能となっている。

(3) 社会動態が地震災害に及ぼす将来的影響評価

都道府県単位、及び北海道においては市区町単位で将来的人口分布の変化が被災時の死者分布にどのように影響するのかを因果解析を行った。多くの都道府県、また市区町において建物建替による住家耐震性の向上により死傷者の減少は進みつつある。一方で地方においては建物新築よりも、むしろ少子化に伴う人口母数減少が際立っており、結果的に死傷者減少にはいるが、高齢化による新たな問題点も浮上してきた。

そのことの検証のために、釧路市(北海道)の詳細検討を行った。結果として、高齢化による被災者救助支援者の大幅減少が指摘でき、津波に対する避難不能者の増大という新たな問題点が見えてきた。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

1. Okada S., T. Nakashima, A. Iida, M. Kitahara: A NEW CAUSALITY MODEL FOR EVALUATING THE PROBABILITY OF HUMAN DAMAGE FROM INJURY TO DEATH IN COLLAPSED BUILDINGS, 16th World, Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2938, pp.1-10, Santiago Chile, January 9th to 13th 2017.
2. Iida A., S. Okada, T. Nakashima, M. Kitahara: Volumetric Loss Estimation for Collapsed Buildings during Earthquakes, 16th World, Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2938, pp.1-11, Santiago Chile, January 9th to 13th 2017.
3. 村口紗也・岡田成幸・中嶋唯貴: 地震災害素因の時間変動性を考慮した宅地供給に関するリスクマネジメントの考え方 - 札幌市を事例として -, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 89, 63-66, 2016年6月25日.
4. 松本将武・岡田成幸・中嶋唯貴: 地震破壊シミュレーションによる建物内死者発生推定のための建物ボリュームロス評価法の検討, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 89, 83-86, 2016年6月25日.
5. 松本将武・岡田成幸・中嶋唯貴: 地震破壊シミュレーションによる建物内死者発生推定のための建物ボリュームロス評価法の検討, 日本建築学会大会(九州)梗概集, 2016年8月24日.
6. 村口紗也・岡田成幸・中嶋唯貴: 地震災害素因の時間変動性を考慮した宅地供給に関するリスクマネジメントの考え方 - 札幌市を事例として -, 日本建築学会大会(九州)梗概集, 2016年8月24日.
7. 中嶋唯貴・岡田成幸: 少子高齢化の進展が地震時建物倒壊による推定死者数へ及ぼす影響, 日本建築学会大会(九州)梗概集, 2016年8月24日.
8. 高橋遥・岡田成幸・中嶋唯貴: 居住環境を考慮した地震時室内変容による人的被害の地域精算評価手法の提案, 日本建築学会大会(九州)梗概集, 2016年8月24日.
9. 岡田成幸・中嶋唯貴: 震後復旧費用個人負担の地域格差, 日本地震学会 2016年度秋季大会(名古屋), S15-18, 2016年10月5日.
10. 岡田成幸・中嶋唯貴: 社会動態が地震災害に及ぼす将来的影響の定量評価, 平成28年度京都大学防災研究所 研究発表講演会, 2017年2月22日.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

岡田成幸(代表者) 北海道大学大学院工学研究院 教授
中嶋唯貴 北海道大学大学院工学研究院 助教
川瀬 博 京都大学防災研究所 教授
飯高 隆 東京大学地震研究所 准教授
他機関との共同研究の有無: 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 北海道大学大学院工学研究院
電話: (011)706-7839

e-mail : okd@eng.hokudai.ac.jp

URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 岡田 成幸

所属 : 北海道大学大学院工学研究院

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

森田裕一(代表者) 東京大学地震研究所 教授

川瀬 博(代表者) 京都大学防災研究所 教授

宮澤理稔 京都大学防災研究所 准教授

飯高 隆 東京大学地震研究所 准教授

松島信一 京都大学防災研究所 准教授

西嶋一欽 京都大学防災研究所 准教授

望月公廣 東京大学地震研究所 准教授

他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：森田裕一

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

経時変化を考慮した地震災害リスク評価手法の構築に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例の研究
- (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

平成 27 年度には、時間軸を追ってリスク評価をするために必要な情報の洗い出しを行った。それを踏まえ、今年度は以下について検討を行う。

- 1．人口の移動に伴う地震リスクの暴露人口の変化に加え、年齢構成の変化による人的被害の特性の違いを反映する方法について検討を行う。
- 2．地震リスク評価が現在から地震が発生するまでの間に経時変化する条件を踏まえ、地震が起こる時点での状況を考慮した地震災害リスクを評価する手法の構築方法を探る。
- 3．地震災害リスク評価に与える諸条件を明確にし、地震による直接被害だけではなく、それらの諸条件に付随する間接被害による影響評価につなげることを検討する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

本研究では、地震リスクの暴露人口の変化のみならず、その年齢構成の変化を考慮した地震リスク評価を行うため、社会科学の分野でよく用いられる人口分布の将来予測モデルの 1 つである Cohort 要因モデル (Cohort component model) を用いて、将来の建物の建築年代分布の予測を試みた。地震時の建物倒壊はその建築年代に依存し、建物倒壊に起因する死者・負傷者数を高精度に予測するためには、建物内の年齢構成を把握することが不可欠である。

本研究では高知県の南国市を対象に検討を行った。国立社会保障・人口問題研究所による Cohort 要因モデルを用いた人口分布の将来予測に倣い、2010 年から 2040 年までの南国市の人口分布の将来予測を確認した。その上で、2014 年時点の南国市における建物年代分布と人口年齢分布の関係を調べ、この時点での人口年齢分布と建物年代分布が将来にわたって不変であると仮定し、将来の建物年代分布を予測する方法を構築した。その結果得られた予測の例として、図 1 と図 2 に予測された 2015 年と

2040年の建物年代と人口年齢の対応を示す。これらの関係から、将来の建物の面的分布から人口年齢分布を予測した上で、地震リスク評価を行う。

(8)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名 :

松島信一(京都大学防災研究所)准教授
西嶋一欽(京都大学防災研究所)准教授
倉田真宏(京都大学防災研究所)准教授
牧紀男(京都大学防災研究所)教授
畑山満則(京都大学防災研究所)教授
Lee Seung Han(京都大学防災研究所)特定研究員
指田朝久(東京海上日動リスクコンサルティング)
佐伯琢磨(防災科学技術研究所)
中嶋唯貴(北海道大学大学院工学研究科)助教
他機関との共同研究の有無 : 無

(10)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学・防災研究所

電話 : 0774-38-4080

e-mail : matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL :

(11)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 松島 信一

所属 : 京都大学・防災研究所

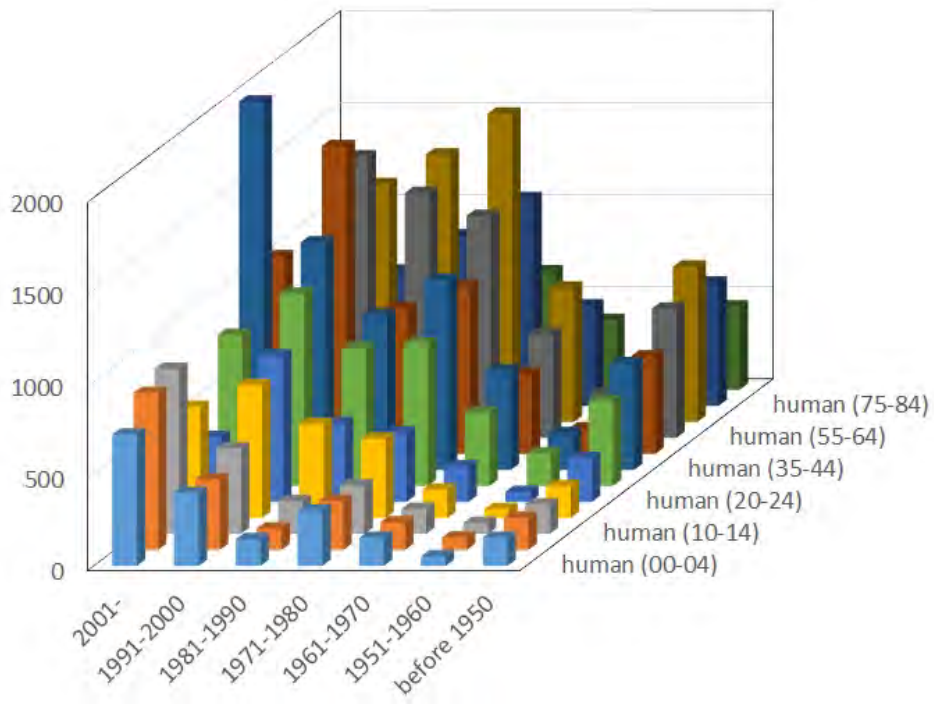


図1 本研究で予測した2015年における南国市の建物年代分布と人口年齢分布の関係

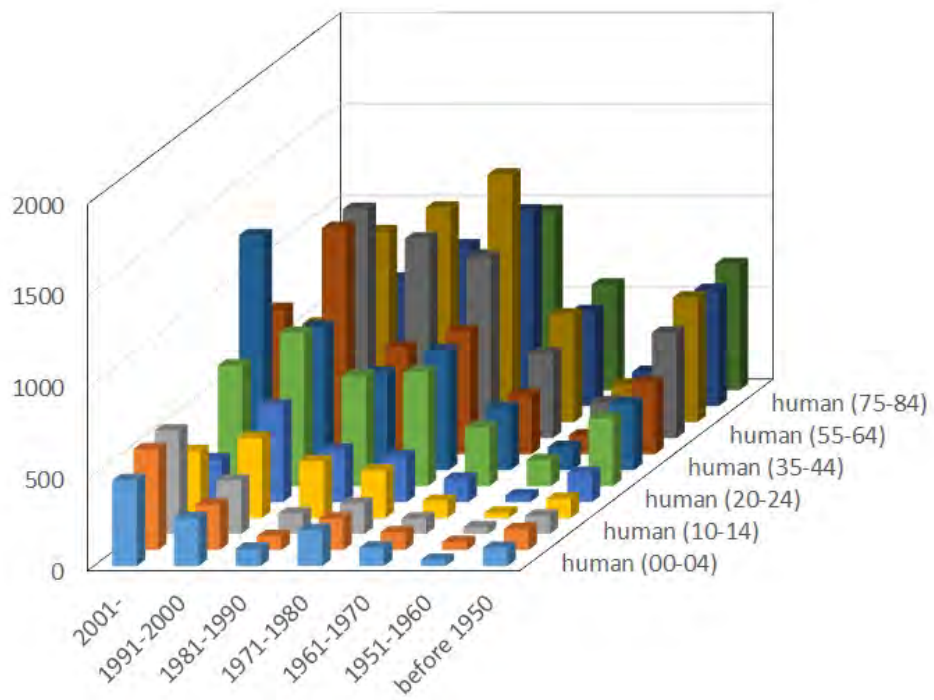


図2 本研究で予測した2040年における南国市の建物年代分布と人口年齢分布の関係

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震リスク評価のための都市モデルの構築と高分解能の災害・被害予測の試行

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例の研究
- (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

過去の地震被害データの相関関係に基づく経験式には精度に限界があることは否めないため、代替として、地震動増幅や地震応答の物理過程という因果関係に基づく数値解析が研究開発されてきた。容量・速度が増加する計算機と、多様な都市情報を利用することで、従来不可能であった都市全体の数値解析を行うことは現実味を帯びている。

上記を背景に、本研究は、理学・工学・社会科学の各分野で培われた数値解析が適用できるような都市全体の解析モデルを使いい、巨大地震がもたらす災害・被害予測を行うことを目的とする。本年度の計画は下記である。

- 1．都市モデルの構築：都市モデルの構築とは、都市情報を集めた複数のデジタルデータリソースを統合し、さまざまな数値解析手法の解析モデルを自動構築することである。複数のデータを複数のモデルに変換するため、情報科学の最先端の技術の適用と新たな技術の開発が必要とされる。変換元となるデータと変換先となるモデルの種類を増やし、都市モデル構築を拡張し続けることが重要である。
- 2．数値解析を用いた災害・被害予測：巨大地震がもたらす災害・被害予測は単なる計算に留まらず、想定すべき複数の地震シナリオや、都市モデルの不確定性を考慮した計算が必要である。不確定性を考慮した合理的な数値解析の方法論の考案や、その結果、生じる膨大な量の解析結果の評価に関しても新しい方法論が必要である。

上記の目的の達成のため、平成 28 年度は、本研究に参加する大学・研究機関に、基盤となる統合地震シミュレーション(Integrated Earthquake Simulation, IES)のプログラムの活用を進める。IES は昨年度、共有されたプログラムであり、試行運用がされている。活用は、連成した地震動増幅と建築建物

地震応答の解析実行である。大学・研究機関が位置する都市に対して実際に都市モデルを構築し、多様な地震シナリオを考慮して地震動と建築建物の応答を計算し、その結果となる地震動と被害の程度を静止画や動画で表示する。さらに津波避難の解析も行う。

(7)平成 28 年度の成果の概要：

平成 27 年度に IES が共有された、東北大学・新潟大学・東京工業大学・山梨大学・神戸大学・香川大学・高知工科大学・九州大学と理化学研究所計算科学研究機構の協力により、仙台・新潟・東京・甲府・神戸・高松・高知・福岡を対象とした IES の活用が行われた。

(1)仙台市

昨年度から取り組んでいる仙台市青葉区・太白区・泉区・若林区・宮城野区を対象に、IES のシミュレーションを継続した(IES の対象領域は仙台市全域に拡大する予定である)。都市モデルの基となる都市情報は、質が空間的に非一様であったが、他の都市情報を使いって一様性を向上させるモジュールを開発した。この結果、一定の品質を持つ都市モデルが構築された。1995 年から 2016 年の間に仙台市で発生した最大加速度 100 gal 以上の 12 の観測地震に対して仙台市の地震シミュレーションを行った(図 1 参照)。

地震シミュレーションの結果を使って、各建物の被害状況と使用状況を基に、修復コストの算定を行った。経験式を使って同種の算定を行う既存の手法と比較し、IES が行う都市モデルの数値解析を使うコスト算定の優位性を議論した。

(2)甲府市

地震動の数値解析を大規模化・高速化することを目的に、IES の地震動数値解析手法を適用できる地盤モデルの構築を行った。最初に、山梨県東海地震被害想定調査において収集・整理された地盤情報を元に、甲府盆地全域における表層地盤構造のデータベースを構築した。データベースを可視化し工学的基盤層深度を明示した。この工学的基盤層震度に基づいて、堆積層が厚く分布している約 5km 四方の領域を抽出した。十分な地盤データを持つこの領域に対し、高精度・高詳細の 3 次元地盤モデルを構築した。

IES に使われている 3 次元非線形有限要素法を適用し、想定東海地震が引き起こす地震動を工学的基盤層(地盤モデル底部)に与え、地震動を計算した。特に着目した点は、速度・加速度の観測からは評価しづらい地盤歪である。特に、軟弱層の存在する個所で、地盤歪が強く集中する結果が得られた(図 2 参照)。沖積層の高精度・高精細モデルを使う数値解析の必要性が示唆される。

(3)兵庫県下の複数都市

兵庫県立大学と連携しながら、兵庫県の複数の都市におけるハザードマップを作成している。明石市・芦屋市・西宮市・尼崎市の 4 都市において IES を用いた各建物のモデル化および地震応答解析を実施し、地震動と建物応答の可視化図を作成した。対象地震は内閣府が公開している想定南海地震(陸側)とした。

数値解析の品質保証をするために、遡上解析の精度に強く影響を与える諸条件を整理することが重要である。特に、地殻変動の考慮の有無、建物形状の考慮の有無が重要である。図 4 は、想定断層パラメータから求めた地殻変動であり、暖色ほど隆起していること示している。岡田モデルによる地殻変動を考慮した際の津波遡上解析例を示し、断層パラメータのみを考慮し断層直上の地盤隆起を与えた場合と比較した。建物を非浸水域として定義した場合と建物直接は考慮せず地盤の粗度係数として間接的に考慮した場合の津波遡上域の比較も示している。

上記が、各地域の大学・研究機関の協力を仰ぎ、国内の複数の都市に IES の活用を進めている現状である。活用は、都市モデルや災害被害予測という IES の機能の高度化というフィードバックの他、IES の計算結果を有効利用することも重要である。特に、IES の計算結果をより高度なハザードマップに集約し防災・減災に結び付けることができるよう、協力機関は地方自治体等との連携強化を進めている。4 都市の内、明石市での検討の例として、明石駅周辺のモデル化および地震応答解析結果の可視化を図 3 に示す。図には、対象地域、都市析モデル、被災率の集計(既存のハザードマップ)、各建物の地

震時の建物応答のスナップショットを示している。

(4) 高松市

高松市を対象に、高潮と津波のシミュレーションを実施した。都市情報から流体数値解析用の都市モデルを構築し、標準的な流体数値解析手法 (OpenFOAM, Open source Field Operation And Manipulation) を適用することで、高潮と津波の両方に同じ品質の数値解析を実行することが可能となる。高潮と津波の数値解析結果を入力とした、住民の避難シミュレーションも実行している。これは災害シミュレーションと災害対応シミュレーションの連成の好例である。津波シミュレーションと連成した避難シミュレーションの結果の一例を図4に示す。

地震シミュレーションで開発された都市モデルを自動構築する技術と数値解析を自動実行する技術を、他の自然災害のシミュレーションに拡張することは重要な課題である。地震・津波の複合災害の備えはもとより、自然災害全体に対する総合防災の立案や高度化に寄与することが期待される。

水害シミュレーションは、今後、IES に実装する予定である。

(5) 高知市

高知県・高知市・香川大学との連携しながら、IES への津波シミュレーションの実装を進めている。実装する数値解析手法は、2次元差分法を使う津波遡上解析である。内閣府想定 of 南海トラフ地震に対し、再度、異なる条件にて津波遡上解析を実施し、街区まで遡上する過程を計算した。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
縣亮一郎, 市村強, 兵藤守, 堀高峰, 平原和朗, 堀宗朗: 震源断層の想定高度化に関する基礎研究-高
詳細な三次元地殻構造モデルを用いた地殻変形解析手法の開発-, 土木学会論文集 A1 (構造・地
震工学), 2016 .

藤田航平, 市村強, 堀宗朗, Wijerathne Maddeggedara Lalith Lakshman, 田中聖三: 都市の高分解能な
地震被害想定の高速度のための基礎的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 2016 .

藤田航平, 市村強, 堀宗朗, Wijerathne Maddeggedara Lalith Lakshman, 田中聖三: 多数の地震シナリ
オに対する高分解能な都市震災想定のための HPC による基礎検討, 土木学会論文集 A2 (応用力
学), 2016 .

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

堀 宗朗 東京大学・地震研究所 教授・センター長

市村 強 東京大学・地震研究所 准教授

ラリス ウィジャラトネ 東京大学・地震研究所 准教授

他機関との共同研究の有無 : 有

横松 宗太 京都大学・防災研究所 准教授

飯塚 敦 神戸大学・都市安全研究センター 教授

井料 隆雅 神戸大学・工学部 教授

今村 文彦 東北大学・災害科学国際研究所 教授・所長

寺田 賢二郎 東北大学・災害科学国際研究所 教授

ラチャロット パーノン 東北大学・災害科学国際研究所 博士研究員

阿部 和久 新潟大学・工学研究科 教授 (災害・復興科学研究所所属)

エロール キナイ 新潟大学・災害・復興科学研究所 助教

廣瀬 壮一 東京工業大学・情報理工学研究科 教授 (都市地震工学センター所属)

盛川 仁 東京工業大学・総合理工研究科 教授 (都市地震工学センター所属)

飯山かほり 東京工業大学・総合理工研究科 特別研究員

鈴木 猛康 山梨大・工学研究科教授 (地域防災・マネジメント研究センター長)

宮本 崇 山梨大・工学研究科 助教

張 鋒 名古屋工業大学・工学部 教授 (高度防災工学センター長)

甲斐 芳郎 高知工科大学・システム工学群 教授 (地域連携センター所属)
清野 純史 京都大学・工学研究科 教授
吉田 秀典 香川大学・工学部 教授
平原 和朗 京都大学・理学研究科 教授
堀 高峰 JAMSTEC 主任研究員
浅井 光輝 九州大学・工学部 准教授
崔明姫 立命館大学衣笠研究機構 専門研究員
谷口仁士 (公財) 地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所 副首席主任研究員
豊田祐輔 立命館大学 准教授
松岡昌志 東京工業大学 准教授

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 堀 宗朗

所属 : 東京大学・地震研究所

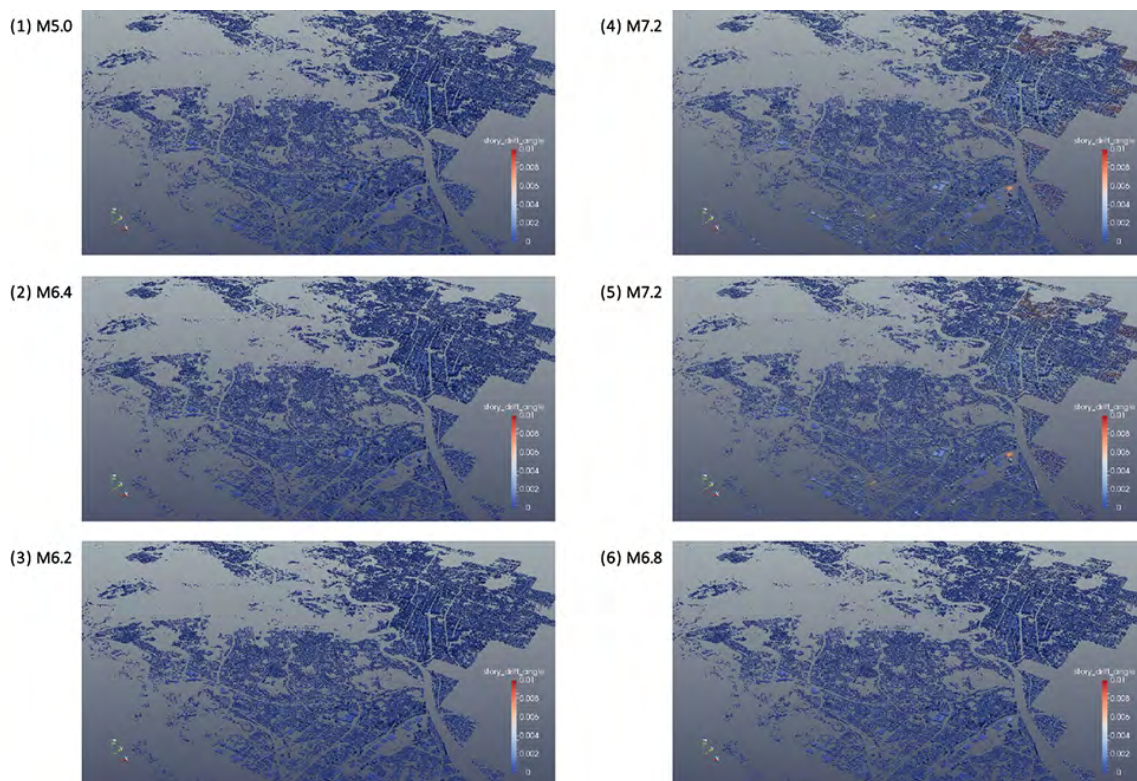


図 1. 仙台市の 12 地震シミュレーション 1/2

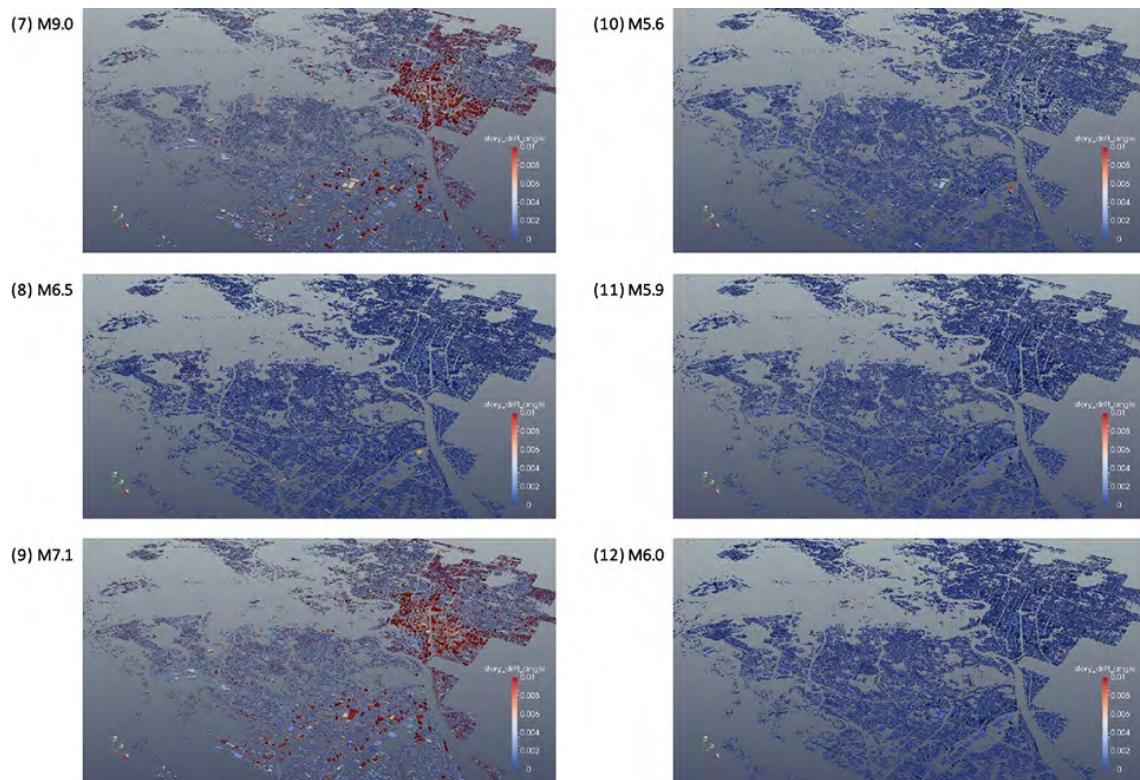


図 1. 仙台市の 12 地震シミュレーション 2/2

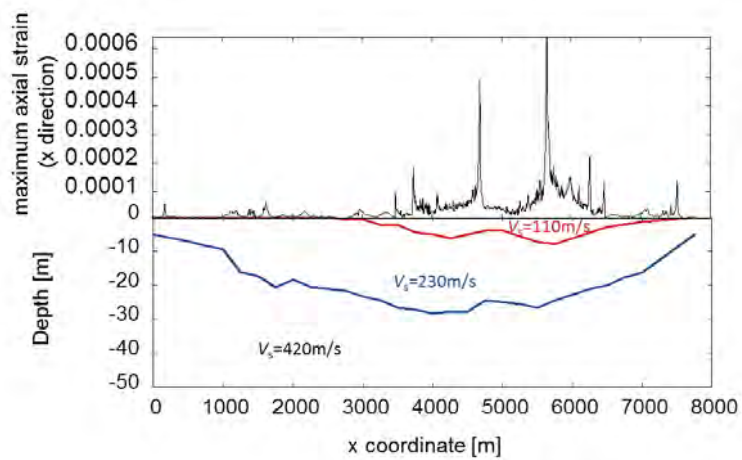


図 2. 解析領域断面における地盤形状と最大軸ひずみ分布の比較

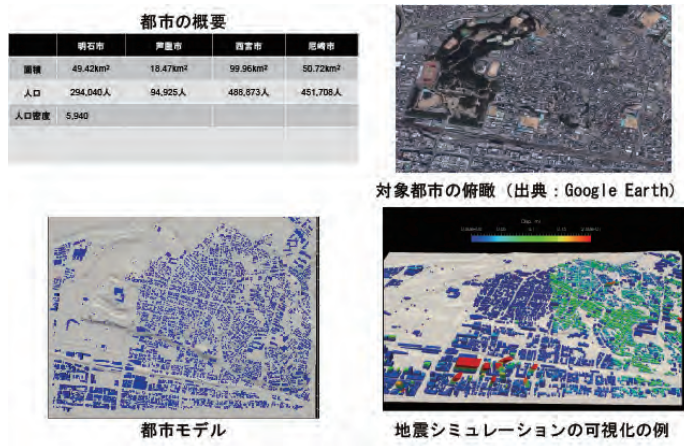


図 3. 兵庫県下複数都市の IES : 構築された都市モデルと内閣府想定南海トラフ地震シナリオに基づく地震シミュレーションの可視化

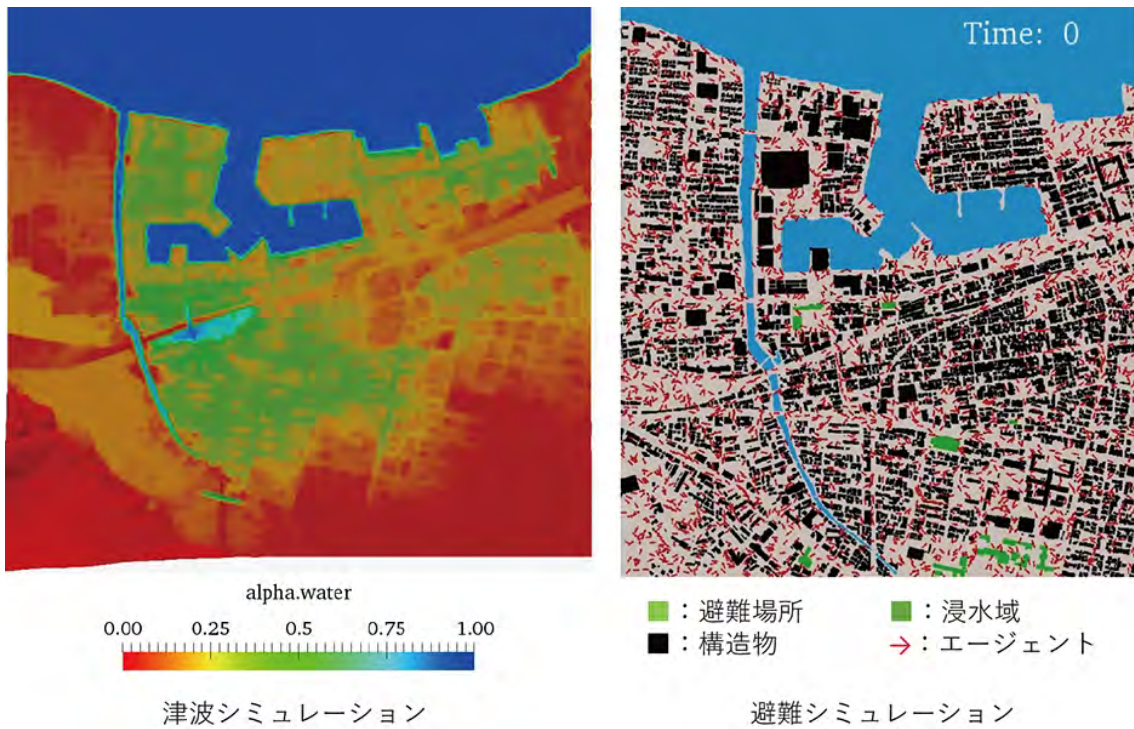


図 4. 高松市の津波シミュレーションと避難シミュレーションの例 (津波シミュレーションの出力を避難シミュレーションの入力とすることで連成)

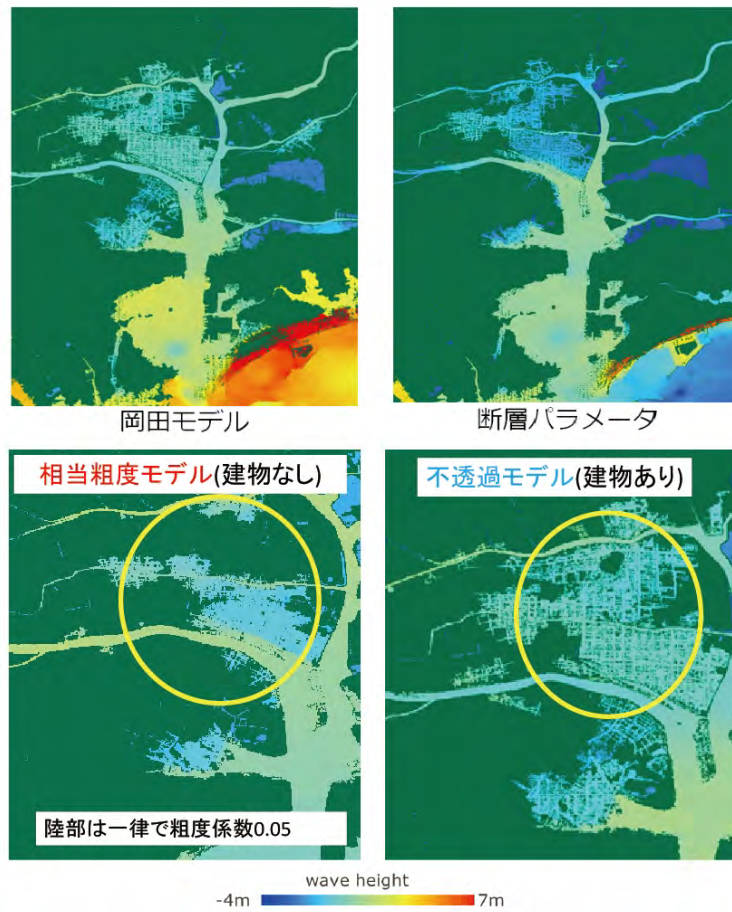


図 5. 高知市を対象とした IES に実装中の津波シミュレーション。解析設定条件の検討：上) 岡田モデルと断層モデルの差，下) 建物モデルの取り扱いの差

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震の災害リスク評価のための震源モデルの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

特定分化研究(その3)では2年計画で、南海トラフのさまざまな地震を対象に、災害リスク評価の前提となる震源モデルの構築に向けて理工学から人文・社会科学に至る分野を視野に入れ統合的に研究を進める。

初年度は、測地・構造・微動・歴史・社会科学の分野の参加者が、既往文献やカタログに基づき複数のシナリオを作成する。これらの各シナリオに0~100%の重みを付けて重ね合わせ、南海トラフ地震の多数の地震シナリオを作成する。加えて、各シナリオの重みづけをエキスパート・オピニオンとして決め、本特定分化研究としての独自の南海トラフの地震シナリオも提示する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

初年度は、多様性を反映した南海トラフ地震の震源モデル構築にあたり、各シナリオの重要構成要素として3~4種類のエキスパート・オピニオンを収集してロジックツリーの分岐を作成した。

測地シナリオとして、陸域のGNSSデータまたは海陸両域GNSS・GPS/Aデータから推定されたすべり欠損分布を収集した。

構造シナリオとして、海山地形、分岐断層の詳細位置、およびプレートの地質環境を反映し震源の応力降下量に寄与すると考えられるスメクタイトの影響を収集した。

地震活動シナリオとして、スロー地震分布、繰り返し地震分布、通常の地震活動分布に加え、日向灘浅部微動と周囲の相似地震・大地震破壊域を収集した。

歴史シナリオとして、過去の南海トラフ巨大地震の震度分布、史料に基づく津波高のほか、史料解釈と繰り返しの新しい見方を収集した。

以上のシナリオを、それぞれ単独あるいは等しく重みづけした場合のシナリオを作成し、南海トラフ地震の震源像を検討した。

また、次年度に取り組む地震動や津波の想定ターゲットを抽出した。地震動については震度と付加体や平野等で発達する長周期地震動、津波については津波高と浸水域といった従来型の地震津波ハザード評価に加え、新たに社会科学的な観点からの災害リスクとして、人口密度分布、産業が密集する太平洋ベルト、原子力および火力発電所分布を評価対象とすることとした。

(8)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
古村孝志, 2016, 昭和南海地震から考える、次の南海トラフ地震と前後の内陸地震への備え, 日本地震工学会 JAEE NEWSLETTER, 5(3), 2.

Obara, K. and A. Kato, 2016, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, Science, 353 (6296), 253-257, doi:10.1126/science.aaf1512.

原田智也・西山昭仁・佐竹健治・古村孝志, 2016, 明応七年六月十一月(ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日)の大地震に関する『九州軍記』の被害記述の検討, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS31-12.

Miyake, H., 2016, Long- and short-period characteristics of megathrust source models and ground motions (invited), UK-Japan Disaster Research Workshop: Cascading Risk and Uncertainty Assessment of Earthquake Shaking and Tsunami.

Guo, Y., K. Koketsu, and H. Miyake, 2016, Propagation mechanism of long-period ground motions for offshore earthquakes along the Nankai Trough: Effects of the accretionary wedge, Bull. Seismol. Soc. Am., 106, 1176-1197, doi:10.1785/0120150315.

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名 :

古村孝志(東京大学地震研究所)教授

西村卓也(京都大学防災研究所)准教授

望月公廣(東京大学地震研究所)准教授

小原一成(東京大学地震研究所)教授

原田智也(東京大学地震研究所)特任助教

関谷直也(東京大学大学院情報学環)特任准教授

三宅弘恵(東京大学大学院情報学環)准教授

他機関との共同研究の有無 : 無

(10)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

(11)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 古村孝志

所属 : 東京大学地震研究所

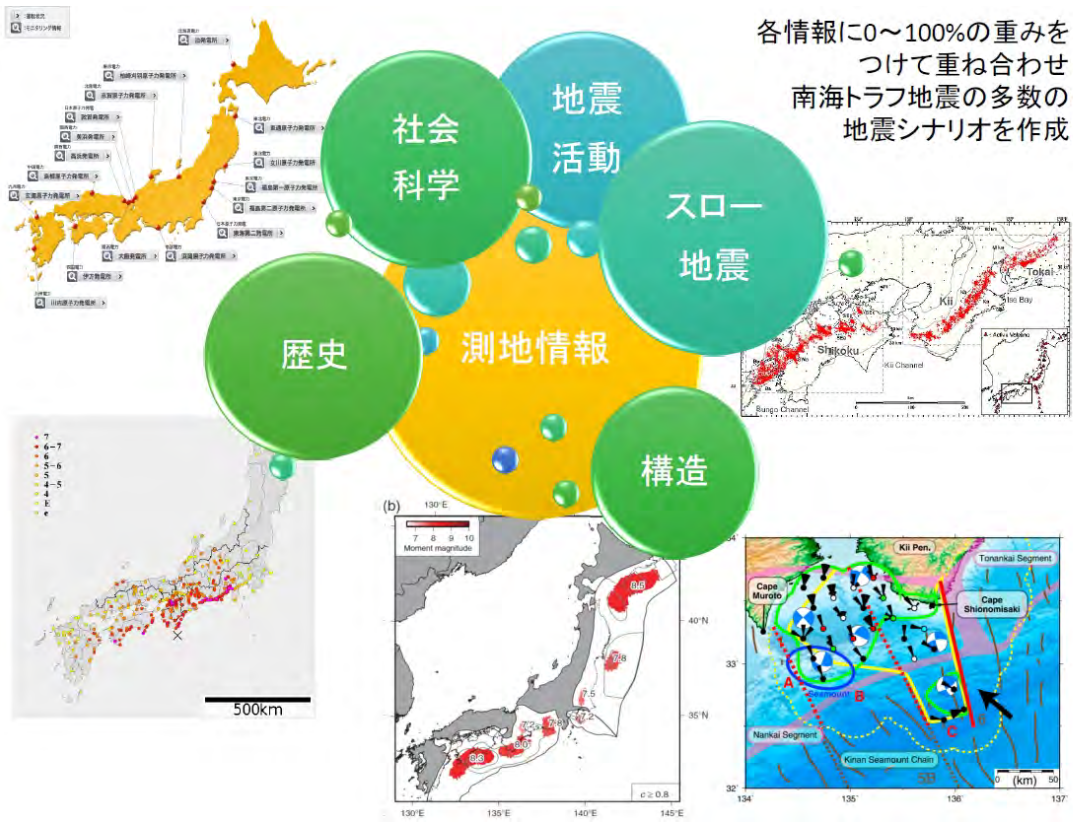


図 1 拠点間連携研究の特定分化研究 (その 3) で目指す多様性を反映した南海トラフ地震の震源像

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

構造物の被害予測手法の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例の研究
- (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本研究では、昨年度に引き続き、これまで提案されてきている経験的な被害予測モデルを精査するとともに、構造物の非線形応答解析を用いた物理モデルによる被害予測の評価手法に関する研究を行い、特に人的被害に直結した構造物の倒壊・崩壊等の大被害の高精度評価を念頭に、両者を統合した新たな被害予測手法の開発を目指す。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

1. 観測データと既往被害予測モデルの対応

東北地方太平洋沖地震の際の建物被害データとその領域にあった強震観測点での地震動レベルとの関係について、既往の文献を調査し、それを整理した。またその元データを収集し、提案してきている構造物の非線形応答解析を用いた物理モデルによる被害予測の評価手法を用いて被害率を求め、観測結果と比較した。その結果、内陸地震をターゲットに構築された予測モデルは海溝型地震の短周期に富む加速度の大きな波形に対しても敏感に反応し、過大な被害率を与えることがわかった。そこでモデル構築の際には含まれていなかった高振動数成分をフィルターすることによって計算被害率を観測被害率に近づけられないか、パラメトリックスタディを行った。その結果、通常考えられる範囲のカットオフ周波数では十分に被害率を低下させることは困難であった。このことは短周期の多く含まれる波形に対して被害率が過大にならないようにするために、非線形特性の見直しを行う必要があることが示唆された。

また、熊本地震での被害調査データを収集・整理するとともに、その情報と近傍での観測波形の最大値について取りまとめた。また同様に計算で求める被害率予測モデルを適用し、概ね妥当な結果が得られることを確認した。

(8)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Kawase, H., S. Matsushima, F. Nagashima, Baoyintu, and K. Nakano: The cause of heavy damage concentration in downtown Mashiki inferred from observed data and field survey, Earth, Planet, and Space, 69:3, 2017 DOI :10.1186/s40623-016-0591-1.

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名：

川瀬 博 (京都大学防災研究所) 教授
 秋山充良(早稲田大学創造理工学部社会環境工学科) 教授
 境 有紀(筑波大学大学院システム情報工学研究科) 教授
 岡田成幸(北海道大学大学院工学研究院建築都市空間デザイン部門) 教授
 中嶋唯貴(北海道大学大学院工学研究院建築都市空間デザイン部門) 助教
 中村友紀子(千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻) 准教授
 山崎文雄(千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻) 教授
 宮腰淳一(清水建設技術研究所原子力技術センター) 主任研究員
 王 欣 助教 東北大学災害科学国際研究所
 他機関との共同研究の有無：無

(10)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：防災研究所社会防災研究部門都市空間安全制御研究分野
 電話：0774-38-4045
 e-mail：kawase@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
 URL：zeisei5.dpri.kyoto-u.ac.jp

(11)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：川瀬 博
 所属：京都大学防災研究所

Event	Site	Component	Maximum Acc	Damage ratio for construction age category			
				~1950	1950~1970	1970~1981	1982~
4/16 01:25 Mainshock	IIS Mashiki	NS	776cm/s ²	0.555	0.481	0.330	0.105
		EW	825cm/s ²	0.711	0.481	0.423	0.154
	KMMH16	NS	651cm/s ²	0.473	0.386	0.332	0.11
		EW	1156cm/s ²	0.637	0.423	0.555	0.144

非線形解析モデルによる熊本地震本震での被害率評価

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

17 世紀以降に形成された歴史津波堆積物の放射性炭素年代推定法の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

津波堆積物は、歴史・先史時代に発生した巨大津波の履歴や規模を知る手段として極めて有効である。特に歴史時代に形成された津波堆積物は、古文書に残る地震・津波イベントと年代対比することにより、対象地に歴史津波が来襲したことを示す有力な物証となる。ところが、一般に活用される放射性炭素年代測定法は、通常の実験手法では数十年以上の誤差を持つことに加え、歴史記録が豊富な 17 世紀以降は大気中の ^{14}C 濃度の揺らぎの影響で数百年にまたがる年代範囲を取りうる結果となるため、同手法は 17 世紀以降の津波堆積物の年代推定に利用できないと考えられてきた(澤井, 2012)。本研究では、放射性炭素年代測定法により 17 世紀以降の津波堆積物の高解像度年代推定を行い、その適用性と精度の検証を行なうことを目的とする。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

北海道大樹町の生花苗沼と湧洞沼、浜中町の霧多布湿原において歴史津波堆積物の掘削調査を行った(図 1)。それぞれの地点において、特定の範囲内で複数本のコア試料を掘削し、境界面が明瞭で泥炭の質が良い試料を選定した。生花苗沼では泥炭層中に 2 層の砂層と 3 層の火山層が狭在していた(図 2)。深度 35~50 cm の層準には 17 世紀に形成したと考えられている礫質の津波堆積物が広く分布しており、その上位には 17 世紀後半に堆積した 3 層の火山灰層(有珠 b 火山灰: 1663 年噴火, 樽前 a 火山灰: 1667 年噴火, 駒ヶ岳 c2 火山灰: 1694 年噴火)が確認できた。火山灰層の上位には層厚 0.5~1 cm ほどの砂層が認められ、火山灰層との層位関係からその堆積年代は 1694 年以降と推定される。湧洞沼においても灰白色のシルト層中に 17 世紀に堆積した津波堆積物が広く認められ、一部の地点では駒ヶ岳 c2 火山灰層の上位に細礫質の堆積物が確認できた。この細礫質の堆積物については側方への連続性が悪く、今回の調査ではイベント性の堆積物と断定できなかった。浜中町の霧多布湿原では泥炭層中に 3 層の砂層と 2 層の火山灰層を確認できた(図 3)。最下部の砂層は 17 世紀の津波堆積物であり、深度 15~20 cm に認められた。その上位には駒ヶ岳 c2 火山灰層と樽前 a 火山灰層(1739 年噴火)が堆積していた。火山灰層の上位には砂層が 2 層認められ(上位から TS1 と TS2)、それらの堆積年代は火山灰層との層位関係から 1739 年以降と推定される。

本年度は調査を実施した3地点のうち、歴史時代の堆積物が最も良好に保存されている霧多布湿原の堆積物について重点的に分析した。採取した試料はCT画像の撮像とITRAXを用いた非破壊分析を行い、津波堆積物の認定を試みた。その後、放射性炭素年代測定を行い、津波堆積物の堆積年代を推定した。放射性炭素年代は層序順に連続的に測定し、その層序関係から年代測定結果に制約を設けた。その結果、TS2の堆積年代は19世紀～20世紀前半と推定された。TS1については1950年以降の大気中の¹⁴C濃度のピークを利用することで、1950年代に堆積した可能性が高いことが推定された(図4)。以上のように、従来高精度での放射性炭素年代測定が困難とされてきた歴史時代においても、層序関係を考慮することで高精度での年代推定ができた。特に1950～60年代の試料については、核実験による大気中の¹⁴C濃度のピークを利用することで、数年単位の誤差で年代を推定することができた。この手法により歴史時代の津波堆積物についても高精度で堆積年代を推定できることを示せた。

(8) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

後藤和久(代表者) 東北大学災害科学国際研究所 准教授
西村裕一 北海道大学地震火山研究観測センター 助教
横山祐典 東京大学大気海洋研究所 教授
佐竹健治 東京大学地震研究所 教授
森 信人 京都大学防災研究所 准教授
他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学災害科学国際研究所
電話：022-752-2087
e-mail：goto@irides.tohoku.ac.jp
URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：後藤和久
所属：東北大学災害科学国際研究所

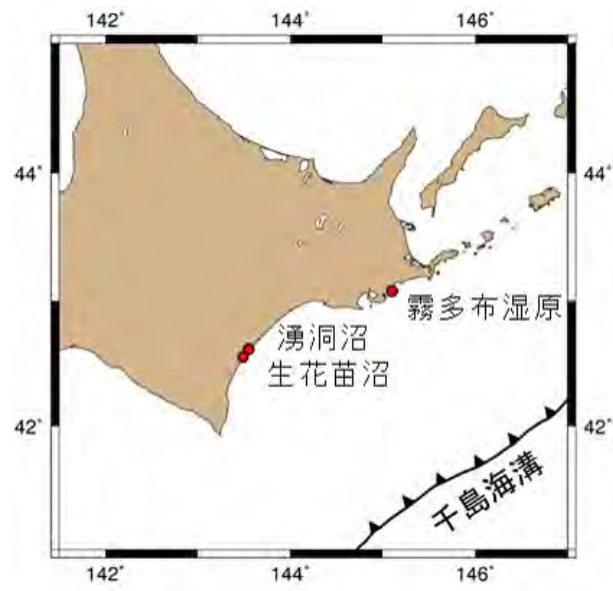


図1 調査地域



図2 生花苗沼での掘削試料

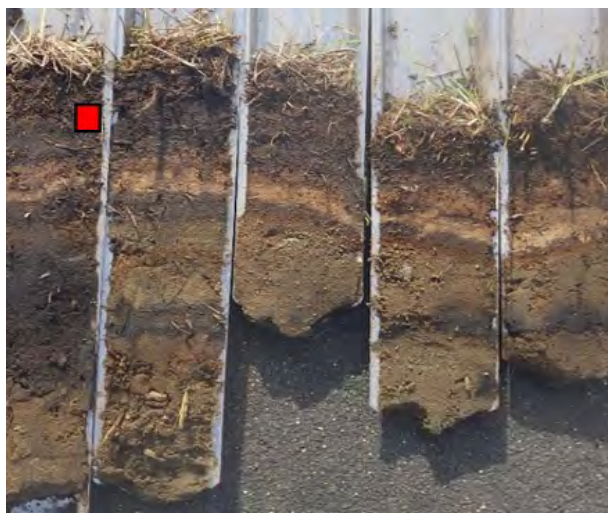


図3 霧多布湿原での掘削試料
一番左のコア試料上に四角で示した範囲での年代測定結果を図4に示す。

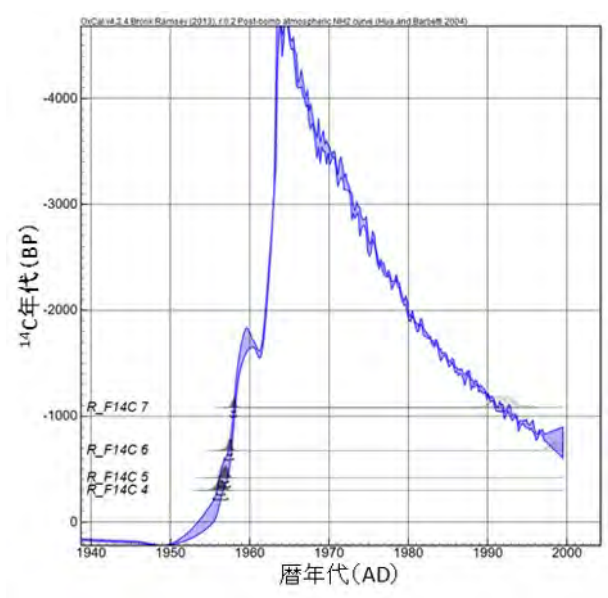


図4 1950年以降の ^{14}C 濃度変化を利用した高精度年代推定

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

緊急地震速報を利用した建物地震災害誘因のリアルタイム予測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

(A) 建物応答予測手法の開発：緊急地震速報により回避行動を取った建物利用者に対して、観測した地震波と事前に用意した建物応答の伝達関数ならびに動的応答倍率を用いて算定した建物最大応答の簡易予測を提供する。同時に、建物頂部に設置した強震計の観測データを解析し、リアルタイムに予測の誤差を補正する。

(B) 振動収束予測手法の開発：長周期地震動を受ける高層建物において、いち早く揺れの収束までの時間の予測を提供する手法を開発する。観測データを用いて建物の減衰特性と振動継続時間を評価し、事前情報から簡便に継続時間を推定するアルゴリズムを開発する。

(C) 実際の建物への適用可能性の検討：防災研に簡易な建物テストベットを製作し、緊急地震速報、余震情報、数値解析情報等を統合する IT システムを実装することから、リアルタイム予測を試験的に運用する環境を整備する。発信する情報の確度を評価し、情報の精度とスピードの関係を整理し、減災行動に有効な情報提供方法について技術的な課題を検討する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

本研究は、地震発生直後から社会・経済活動の復旧開始に至るまでの時間に、緊急地震速報情報と地震計を設置した建物(ここでは防災拠点建物と称する)の構造モニタリング情報を併用し、建物ごとの被災予測をリアルタイムで正確に発信するシステムの開発と実証を目指している。特に、採択初年度の平成 28 年度は、防災拠点建物周辺の建物群の最大応答推定の高度化に取り組んだ。なお、本研究では、最大応答推定とは地震動収束後に地域の建物群の応答情報を提供することを指し、その対象は構造モニタリングを行う防災拠点建物の周辺建物群とする。

防災拠点建物周辺の建物群の最大応答を推定する手法を新たに開発した。本手法は、下記の 3 つのステップから構成される。まず、緊急地震速報から得られる震源情報を用いて対象建物サイトの応答スペクトルを推定する。次に、防災拠点建物の観測記録を用いて推定応答スペクトルを補正する。最後に、建築構造物の限界耐力計算設計法の一部で使用される Capacity Spectrum Method (CSM) を用いて対象建物の最大応答を推定する。

対象建物サイトの応答スペクトル推定には Morikawa and Fujiwara (2013) による距離減衰式を用いた。ここで応答に大きく影響するのはモーメントマグニチュード と断層最短距離 [km] である。

次に観測記録を用いた推定応答スペクトルの補正方法について述べる。地震動の波形は観測点の距離が近づくほど類似するため、本研究では防災拠点建物から半径 1km 以内の地域内建物群への入力地震動は防災拠点建物と同じであるとみなす。防災拠点建物からの距離が 1km を超えるサイトに対しては誤差指数による補正をかける。緊急地震速報情報から距離減衰式で求められる応答スペクトルは多数の地震動の平均的特性を有する。しかし、実際に観測される地震動は Fig.1 に示すように固有の周波数特性を有するため、その特性を応答スペクトルに反映するための補正を行った。

東京都 A 区に建つ 4 棟 (No.1 4) の高層ビルの加速度応答観測記録を用いて提案手法の精度を検証した。観測記録として東北太平洋沖地震の本震観測記録を用いる。本検証では建物 No.1 が観測記録を持つ防災拠点建物、建物 No.2, 3 が構造モニタリングなしの周辺建物と仮定して最大応答を推定し、観測記録と比較した。建物 No.1 からの距離は No.2 は 1km 以内で、No.3 は 1km 以上離れている。比較対象とする観測最大応答値は建物頂部の観測記録から算出した。このとき高次モード成分の影響を取り除いたものと取り除かないものの 2 種類について算出し、それぞれ observed response 1 と observed response 2 としている。

建物 No.2, 3 に対して提案手法を適用した結果を Fig.2 に示す。距離減衰式に用いたマグニチュードは緊急地震速報の最終報の値である 7.9 である。距離減衰式によって推定された加速度応答スペクトル (estimated spectrum) は建物応答を大きく過小評価する結果となっている。建物 No.2 においては、建物 No.1 に位置が近いので補正は必要なく、推定したスペクトル (corrected spectrum) と No.2 の基礎での観測記録によるスペクトル (observed spectrum) はほぼ等しい。No.4 においては平滑化した誤差指数を用いて補正したスペクトル (corrected spectrum) が No.4 の基礎での観測スペクトル (observed spectrum) の傾向を良く追従できている。

推定した応答スペクトルは非常に精度が高いが、性能スペクトルとの交点から求めた建物応答は観測記録に対しては差があり、この点については基礎の観測地震動から建物応答を推定する手法について、精度の向上の余地がある。

防災拠点建物の観測記録から周辺建物の最大応答を推定する手法を提案し、実際の建物観測記録を用いてその精度を検証した。緊急地震速報情報による応答スペクトルに、防災拠点建物での観測記録を用いた補正をかけることで応答推定の精度を格段に向上できることを確認した。

次年度以降は、基礎の観測記録から建物の応答を予測精度を向上する手法を模索するとともに、最大応答に加えて、建物の揺れ継続時間の推定を検討する。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) : 倉田真宏, 新本翔太, 和田拓也, 山田真澄, 楠浩一, 柏尚稔, 溜淵功史“ 緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した地震災害誘因の同定 ”, 京都大学防災研究所年次発表会梗概, OSK4, 2017. 2.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

倉田真宏 (代表者) 京都大学防災研究所 准教授
楠 浩一 東京大学地震研究所 准教授
山田真澄 京都大学防災研究所 助教
柏 尚稔 国立研究開発法人 建築研究所 主任研究員
溜淵功史 気象庁 係員
他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所
電話 : 0774-38-4084

e-mail : kurata.masahiro.5c@kyoto-u.ac.jp

URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 倉田真宏

所属 : 京都大学防災研究所

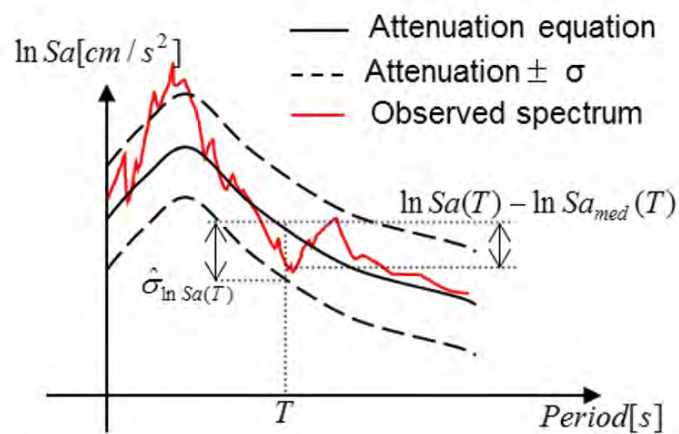


Fig. 1 推定および観測応答スペクトル

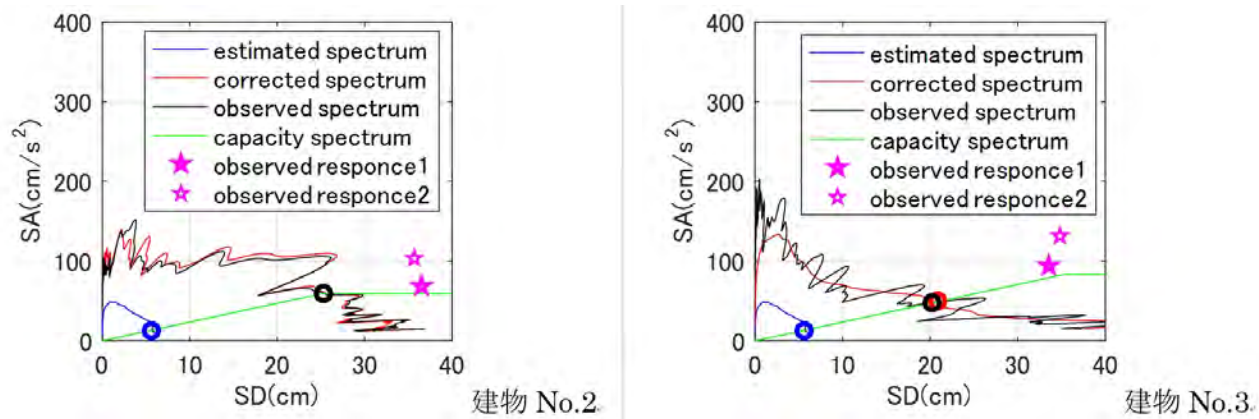


Fig. 2 提案手法の適用

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

東北地方太平洋沿岸の歴史地形の復元・可視化に基づく歴史災害研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

本研究の目的は、現代的な測量で作成された地図や航空写真のみならず、明治時代の地籍図や江戸時代の国絵図・村絵図といった前近代の絵図史料から、現代の開発による改変以前の古地形を復元し、可視化することを目的とする。また、復元した歴史地形をもとに、同地で発生した歴史的な災害と対比させ、各々の時代における地形と災害時の被害の関連性を明らかにする。これにあたり、大日本帝国陸地測量部による「5 万分の 1 地形図」(1916) を地理情報システム ArcGIS により現代の地形データと重ね合わせ、約 100 年前の歴史地形について復元・可視化し、この基礎データをもとに、他の歴史情報や 2011 年の東日本大震災の津波浸水範囲などの情報を複合して分析を加える。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

本年度の研究においては、岩手県釜石市中心地区および宮城県多賀城市周辺地区において地形復元を実施した。両地域を選定した理由は、近代の産業振興により海岸線の人工改変が顕著にみられること、また過去の歴史津波についての伝承が残されている場所であることを重視した。

岩手県釜石市は、明治中期以降の製鉄業の振興を発端として製鉄の町として栄えた都市である。陸地測量部作成の「5 万分の 1 地形図」に基づいた復元地形と今日の海岸線を比較すると、港湾施設の発達にともなう海岸や河口の埋め立てられるとともに、甲子川河口の干潟が埋め立てられている様子を確認することができる。これに 2011 年の東日本大震災の津波浸水範囲を重ねると、これらの人工構造物のほとんどが津波被害を受けていることが確認できる。

宮城県多賀城市は古代より大和朝廷による城柵・多賀城が建設されるなど歴史をもつ地域であり、江戸時代以降は舟入堀(のちの貞山運河)が開削されて砂押川の流路が変わるなど、古くから地形の改変が進んでいた地域である。また、高度経済成長期には仙台新港の建設により海岸線が大きく変化しており、新港建設にともなう土砂による埋め立てにより周辺地域の高低差にも若干の影響があることが予想される。今回の地形復元においては陸地測量部地形図をベースとして、仙台新港や貞山運河を除去し、旧来の砂押川を復元した。なお、多賀城市八幡の八幡神社には、かつて門前町が存在したが、昔の津波により門前町が壊滅したという伝承が残っている。八幡神社の成立が源義家の東征に由来し

ていることをふまえれば、この津波は 1611 年の慶長奥州地震津波と考えられるが、集落の实在性をふくめてなお考証が必要である。今後の課題としておきたい。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

蝦名裕一(代表者) 東北大学災害科学国際研究所 准教授

菅原大助 ふじのくに地球環境史ミュージアム 准教授

今井健太郎 海洋開発研究機構 技術研究員

岡田真介 東北大学災害科学国際研究所 助教

花岡和聖 東北大学災害科学国際研究所 助教

西山昭仁 東京大学地震研究所 助教

加納靖之 京都大学防災研究所 助教

他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学災害科学国際研究所

電話 : 022-752-2146

e-mail : ebin@irides.tohoku.ac.jp

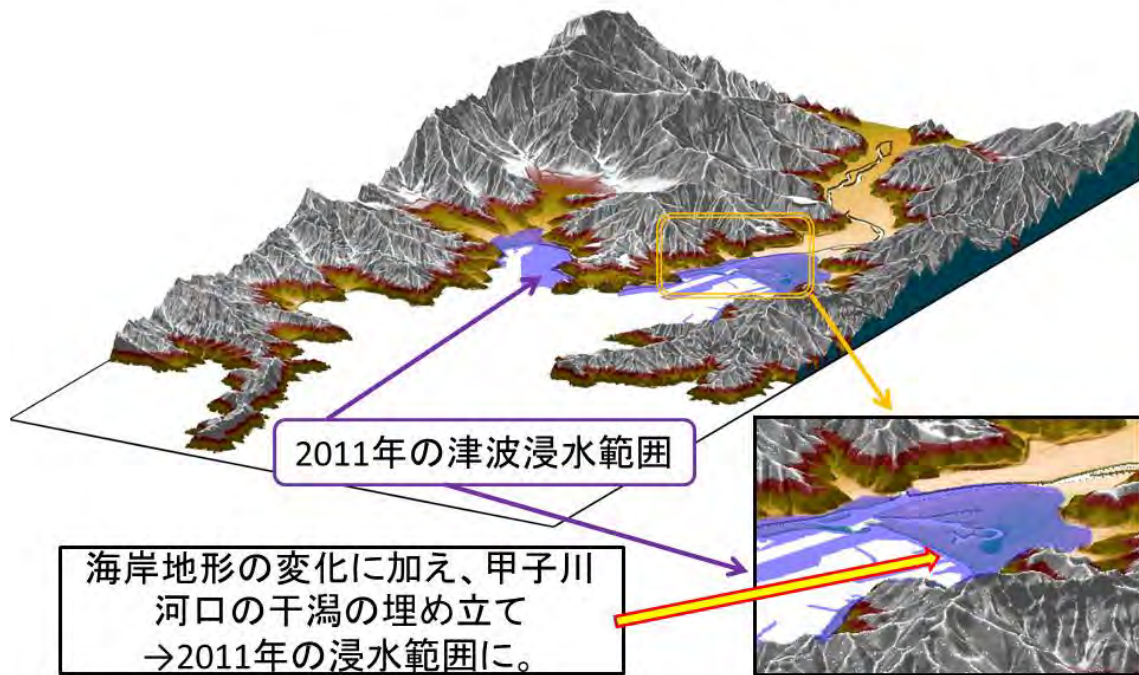
URL :

(11) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 蝦名裕一

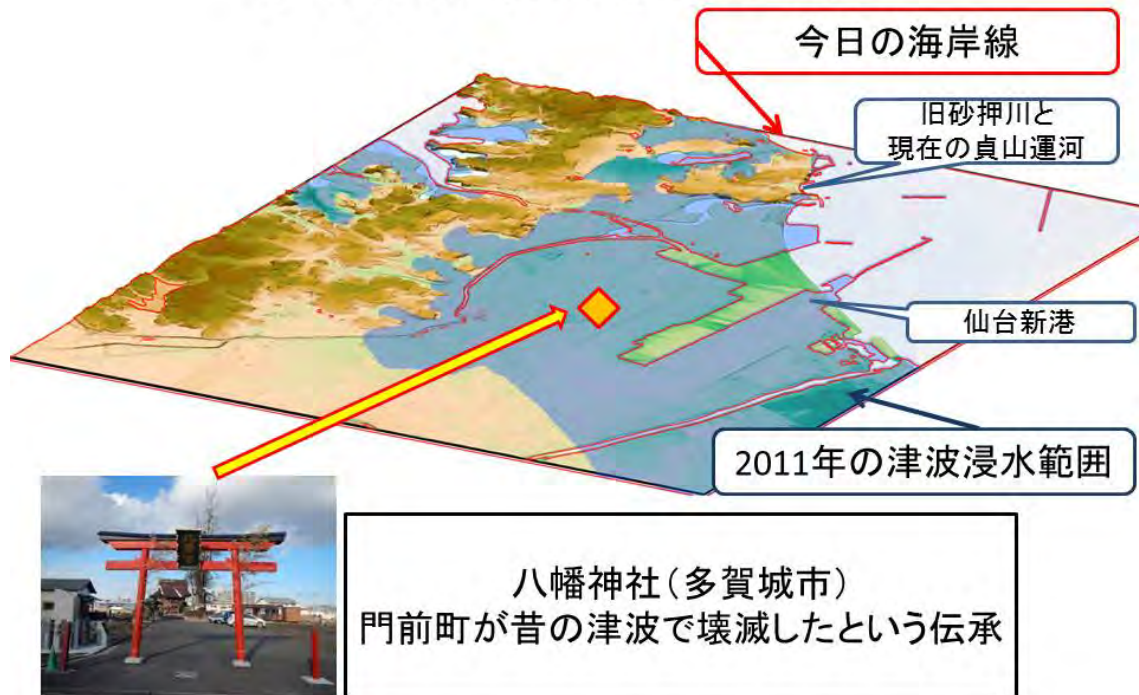
所属 : 東北大学災害科学国際研究所

釜石市の復元地形



釜石地区の復元地形

多賀城市の復元地形



多賀城市の復元地形

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大災害想定のコミュニケーション戦略に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

巨大災害想定は、科学的不確実性および不定性を伴いつつも、政府や自治体、企業や団体、また住民がその災害被害について見当をつけ、減災に活かされるために提供されている。阪神・淡路大震災以降、長期予知の研究の成果として地震動の確率計算やその公表が積極的に行われるようになってきた。東日本大震災後は L1、L2 という比較的発生頻度が高い津波と最大クラスの津波という考え方が提案され、南海トラフ巨大地震、日本海沿岸部の地震において最大クラスが想定されるようになってきた。また、この考え方は、他の災害想定にも取り入れられ、火山の破局噴火、河川氾濫、高潮についても「最大限」が想定されるようになった。

しかしながら、科学的不確実性および不定性を前提としたこの巨大災害想定は、行政の被害想定や災害対策などの基礎となっているものの、住民心理への影響、社会的影響については知見が非常に乏しいのが現状である。具体的には、?巨大災害という再現確率がない「科学的最大限」をどのように理解しているのか(想定をする側としてはどのように理解されるべきと捉えているのか)、?巨大災害想定がどのように社会に対してインパクトを与えるか、?そもそも科学的には巨大災害想定の情報提供後の望ましい帰結とは何であるのか、などに対する知見が不足しているのが現状であり、このため防災・減災のために巨大災害想定についてどのようなコミュニケーションを行うべきかという戦略が打ち出せない状況にある。

この巨大災害想定を防災・減災のために有効に活用するために、?現状の市民の受容の様態に関する意識調査、?社会的な影響事例を収集・整理し、現状としての巨大災害想定の実態の理解のされ方、社会的影響、課題について明らかにする。

本研究は、巨大災害想定の情報提供のあるべき姿、巨大災害想定の実態の防災・減災のための活用策に関する知見を提供する。これは、これまで経験的によって語られていたものに社会科学的視点から知見を提供するという点で学術的意義をもち、かつ地震・火山研究のアウトリーチ、また地震・火山研究の防災・減災への接続の方策を考えるという意味で、社会的な意義をもつものである。

本研究では、上記目的を遂行するため、本研究では首都直下地震、南海トラフ巨大地震、日本海地震、津波を中核に据え、調査は(1)「巨大災害想定」の理解と受容に関する調査、(2)巨大災害想定の実態の社会的インパクトに関する調査の2種類を行う。本年度は主として(1)を中心に行った。

(7) 平成 28 年度の成果の概要 :

本研究では、上記目的を遂行するため、本研究では首都直下地震、南海トラフ巨大地震、日本海地震、津波を中核に据え、調査は(1)「巨大災害想定」の理解と受容に関する調査、(2) 巨大災害想定 of 社会的インパクトに関する調査の 2 種類を行う。本年度は主として(1)を中心に行った。

本年度は、(1)における先行研究のレビュー、ヒアリング、ディスカッションなどから、今後巨大災害想定 of 受け止め方を分析するにあたり必要な計測項目を抽出した。年度内に調査票が回収され、詳細な分析、データ解析が行われる。

計測項目は以下の通りである(具体的な調査票、質問項目は省略する)

- ・震度の理解
- ・確率表現(生起確率、確率年の理解)
- ・確率表現の態度変容(認知、感情、行動)への影響
- ・「巨大想定」の認知度、理解度、活用度
- ・巨大災害という再現確率がない「科学的最大限」をどう理解しているのか
- ・確率の概念がどうに理解されているか、どの程度の精度を要求しているか。
- ・災害研究の不定性がどの程度理解されているか
- ・災害科学・研究へのニーズ

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

関谷直也, 2016, 企業の防災対策における BCP と CSR : 大企業に対する実証調査より, Nextcom25, 4-15

関谷直也・田中淳, 2016, 避難の意思決定構造 - 日本海沿岸住民に対する津波意識調査より -, 自然災害科学 J. JSNDS 35 特別号 91 -103 (2016) 91

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

田中 淳(代表者) 東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター センター長・教授

関谷直也 東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター 特任准教授

定池祐季 東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター 特任助教

古村孝志 東京大学地震研究所 教授

牧 紀男 京都大学防災研究所 教授

他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター

電話 : 03-5841-5924

e-mail : naoya@iii.u-tokyo.ac.jp

URL :

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 田中 淳

所属 : 東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震波動伝播シミュレーションのための基盤的コミュニティ・コードの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

地震波動伝播シミュレーションは、災害の予測に直結する即時予測や強震動評価はもちろんのこと、短周期地震波に影響を与える地殻およびマントル内微細不均質構造や浅部地盤構造、海域や内陸で発生する巨大地震の震源モデル研究、あるいは不均質かつ海域を含む大規模構造下での長周期地震波動伝播研究など、防災・減災に直接的・間接的に貢献するような、非常に多くの解析手法の高度化に直結することが期待される基盤的な技術である。本申請課題では、申請代表者がこれまでスーパーコンピュータ上で開発してきた最先端の地震波動伝播シミュレーションコードを、その性能を最大限に維持したまま数値シミュレーションの専門家でなくても容易に使えるよう全面的な刷新を行い、かつ地震学・火山学をはじめとしたより広範な分野で利用可能となるよう高度化を行う。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

これまで開発してきた差分法に基づく並列地震波動シミュレーション (e.g., Maeda et al., 2013, BSSA; Maeda et al., 2014, EPSL) で用いられた計算コードをもとに、コミュニティ・コードを開発した。同コードは「京」コンピュータや地球シミュレータ等のスーパーコンピュータにおいてその計算機性能を最大限に引き出すことのできるものであったが、コード記述内容が各スパコンの計算機構造に特化しており、かつ計算効率を最優先するために多くのパラメタがコード内に埋め込まれているなど、汎用性が低くなっていた。

そこで、数値シミュレーションの専門家でなくても容易に扱えるよう、このコードを抜本的に改修した。開発したコードは、入力パラメタに応じて動的な計算機メモリの確保や構造モデルの生成、計算と出力を一貫して行う。モデルの変更や計算サイズの修正および並列数の変更などはすべて入力パラメタのみで制御可能であり、利用者がコードを修正する必要なく、実用的な数値シミュレーションが実施できる。また、入力データとなる地下構造モデルの準備や計算結果のフォーマット変換等の必要な作業をすべて計算コードに統合することによって、利用者の負担を大幅に軽減した。

本コードはデカルト座標系で差分法計算を行うが、緯度・経度座標との座標変換のための Gauss-Kruger の等角地図投影変換が計算コードに内包されており、震源や観測点位置などの位置情報は緯度

経度のままで与えることができる。地震波速度構造についても、緯度・経度・境界面の深さからなる複数の速度不連続面で表現された成層構造モデルにより表される3次元不均質構造から自動的に指定領域を抽出し、デカルト座標系の差分格子に合わせた不均質構造モデルを生成させることができる。震源についてもさまざまな問題に適用できるように、モーメントテンソルで表される点震源の他に、主として火山で用いられるような実体力震源や遠地地震・地盤構造研究のための平面波入射を選択可能にした。相反定理を用いて多数の震源要素位置からの応答を高速に計算する Green 関数モードも整備した。これら動作モードの変更も、入力パラメタの変更だけで制御できる。

地震波速度構造モデルやスナップショット出力などの空間情報を扱う入出力ファイルには NetCDF を、地震波形出力には SAC フォーマットをそれぞれ採用した。どちらも広く使われている解析・可視化ツールを通じて地震学研究コミュニティになじみ深いものであり、ユーザーにとってシミュレーション結果の取り扱いが容易になると期待される。利用法について詳細に記述した日英両言語のマニュアルを整備した上で、公開リポジトリ (<https://github.com/takuto-maeda/OpenSWPC>) にてオープンソースライセンスの一種である MIT ライセンスに基づいてコードを公開し、利用される手法や技術の透明性を担保した。これら一連の開発により、微細スケールから日本列島スケールまでの様々な環境における地震波数値シミュレーションがきわめて容易に実現できる素地が整った。

- (8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Maeda, T., K. Nishida, R. Takagi, and K. Obara, 2016, Reconstruction of a 2D seismic wavefield by seismic gradiometry, *Prog. Earth Planet. Sci.*, **3**, 31, doi:10.1186/s40645-016-0107-4.
- Maeda, T., H. Tsushima, and T. Furumura, 2016, An effective absorbing boundary condition for linear long-wave and linear dispersive-wave tsunami simulations, *Earth Planets Space*, **68**, 63, doi:10.1186/s40623-016-0436-y.
- Noguchi, S., T. Maeda, and T. Furumura, 2016, Ocean-influenced Rayleigh waves from outer-rise earthquakes and their effects on durations of long-period ground motion, *Geophys. J. Int.*, **205**(2), 1099-1107, doi:10.1093/gji/ggw074.

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :
- 前田拓人 (代表者) 東京大学地震研究所 助教
土井一生 京都大学防災研究所 助教
他機関との共同研究の有無 : 無

- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
- 部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5714
e-mail : maeda@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

- (11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
- 氏名 : 前田拓人
所属 : 東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

詳細地盤構造と活動セグメントの新たな解釈に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

現地にて、活動セグメントの解釈に有用となる横手盆地東縁断層帯の部分において現地調査を行う。また、被害集中地域における詳細地盤構造を推定するため、横手盆地における地盤構造調査を行う。これらの結果をもとに、1896 年陸羽地震の震源断層モデル案と詳細地下構造モデルを構築する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

1896 年(明治 29 年)陸羽地震(M7.2)は秋田県と岩手県の県境付近を南北に延びる横手盆地東縁断層帯の北部、その北方の駒ヶ岳西麓断層群およびその東方の真昼山地東縁断層帯の一部が活動したものであると考えられている。1896 年陸羽地震の際に被害が集中した地域は地表地震断層が出現し、約 3.5m の上下変位を生じた千屋断層を中心とした横手盆地断層帯北部周辺である。千屋断層におけるトレンチ調査等の結果から、横手盆地断層帯北部では平均変位速度が 1.0m / 千年程度で、1896 年陸羽地震の前は 3,500 年前頃に活動したと推定されている。一方、横手盆地断層帯南部の最新活動は約 6,000 ~ 5 千年前以後であったと推定されているが、1896 年陸羽地震の際に活動していないことが確認されている。しかしながら、横手盆地断層帯南部付近に位置する現横手市においては震源域から離れているにもかかわらず住家全壊率が 10% 以上になった地域があり、潰家により死者が出た。現横手市でも人的被害が出た原因は、地盤構造による影響も考えられることと、横手盆地断層帯南部で地震が発生した場合はその地盤構造による影響が大きくなることが推測される。このため、本研究では、横手市における活断層と地盤構造の関係を把握するために、常時微動観測を行った。

常時微動の観測点は図 1 に示すように、秋田県横手市の横手盆地から盆地断層帯南部を挟んで東西に 2 つの測線を配置し、計 12 地点での観測を計画した。図 1 には南北に延びる活断層(赤点線)が 3 本示されているが、中央のものより東側は岩盤が路頭しているため、中央または西側の活断層が盆地境界となっていることを想定した配置とした。微動観測には、可搬型 3 成分加速度計 SMAR-6A3P と連続観測用データロガー LS8800 を組み合わせたものを用いた。観測条件としては、アンプを 500 倍とし、時間刻みは 200Hz サンプリングとした。各測線について、全観測点で同時に 30 分観測を行った。観測した 30 分の常時微動記録から 40.96 秒の時間区間を 50% オーバーラップさせて切り出し、区間毎の常時微動水平上下スペクトル比(MHVR)を計算した。その際、水平 2 成分の平均をとらず、別々に上下成分との比をとり、NS/UD と EW/UD とした。交通振動などの影響を極力避けるため、区間毎の振幅の二乗和平均が大きい区間を 2 割分除外した。得られた測線 1 と測線 2 の MHVR を図 2a と図

2b にそれぞれ示す。岩盤側の Y1-6 と Y2-6 では 1~10Hz 程度までの広い振動数範囲でスペクトル比はほぼ平らで 2~3 倍となっている。その西側の Y1-5 と Y2-5 ではスペクトル比は小さくほぼ平らとなっていて、水平動の振幅はそれほど大きくないことが分かる。Y1-4 と Y1-3 では、1~2Hz を中心とするやや広いピークと 0.2~0.3Hz に顕著なピークが見られる。Y2-4 と Y2-3 では同様に 0.2~0.3Hz にピークが見られるが、1Hz のピークは Y2-4 にしか見られない。さらに西野観測点では、ほぼ平らなスペクトル比となり、地盤が固くなっていることが示唆される。これらのことから、横手盆地では Y1-3 ~ Y2-3 の比較的狭い範囲(幅 1~2km) で深い構造が存在していることが推測される。

一方、活断層についての現地調査結果から、1896 年陸羽地震の詳細震源断層モデルの構築について検討を行った。

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
松島信一・佐藤啓太, 2017, 横手盆地の盆地境界の推定のための地下構造調査, 京都大学防災研究所
研究発表講演会, P61.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :
松島信一(代表者) 京都大学防災研究所 准教授
市村 強 東京大学地震研究所 准教授
吾妻 崇 産業技術総合研究所 主任研究員
野澤 貴 鹿島建設原子力部 担当部長
他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名 : 京都大学防災研究所
電話 : 0774-38-4080
e-mail : matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp
URL :

(11) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者
氏名 : 松島信一
所属 : 京都大学防災研究所

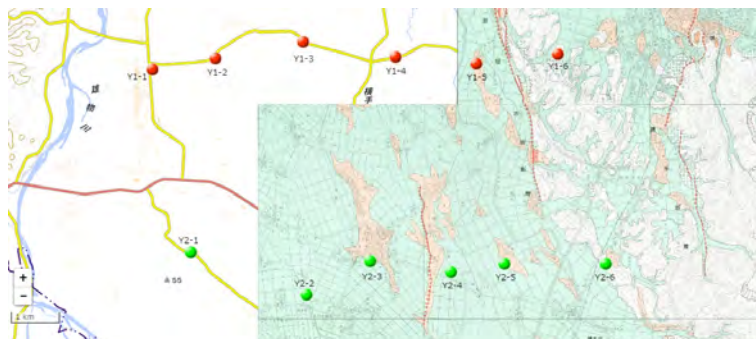


図 1 横手盆地における微動観測点(国土地理院電子国土 Web に描画)
横手駅の西方の測線 1 およびその約 5km 南の測線 2 における微動観測点。観測点間隔は約 1km ~ 1.5km。

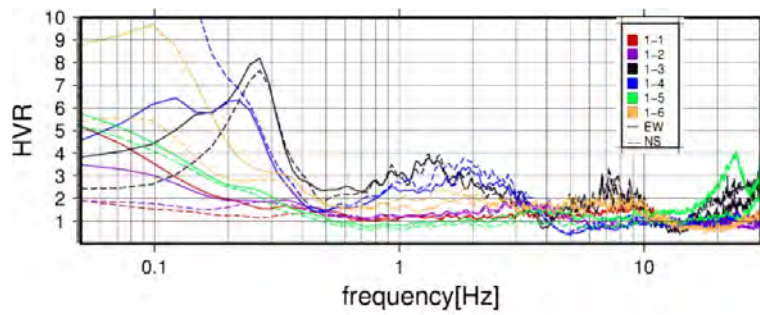


図 2a 測線 1 における観測微動水平上下スペクトル比 (実線が EW/UD、破線が NS/UD)
 測線 1 の 6 観測点における水平上下スペクトル比。6 観測点のうち、東寄りの 2 観測点 (Y1-6 と Y1-5) および西寄りの 2 観測点 (Y1-2 と Y1-1) は 0.1~10H の間でピークはなく平坦なスペクトル比。Y1-3 と Y1-4 には 0.2~0.3Hz のピークと 1.0~2.0Hz になだらかなピークが見られる。

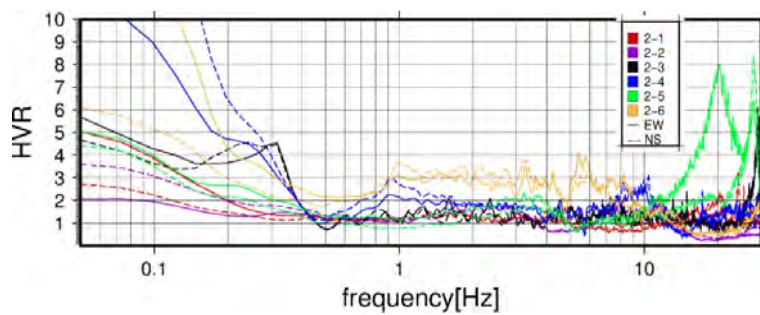


図 2b 測線 2 における観測微動水平上下スペクトル比 (実線が EW/UD、破線が NS/UD)
 測線 2 の 6 観測点における水平上下スペクトル比。6 観測点のうち、東寄りの 2 観測点 (Y2-6 と Y2-5) および西寄りの 2 観測点 (Y2-2 と Y2-1) は 0.1~10H の間でピークはなく平坦。

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

ダム湖に隣接する地すべり土塊の南海トラフ巨大地震に対する危険度評価と斜面の不安定土塊の位置検出法の開発・高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

第二次世界大戦後、洪水対策、水資源確保や電源開発の目的で、大規模なダムが建設された。これらのダムの多くは、戦後建設完成したもので、昭和 21 年の昭和南海地震以後、想定される南海トラフ巨大地震規模の強震動をこれまで経験していない。予想される巨大地震に対するダム湖に隣接する地すべり土塊の危険度評価が必要であることは、近年では、2008 年岩手・宮城内陸地震の荒砥沢ダムでは、地すべりによってダム湖内に段波を生じさせた事例をみれば、明かである。

紀伊半島の四万十付加体を流下する熊野川中流にある風屋ダムは、空中写真判読でもダム湖に地すべり土塊が複数隣接し、熊野川の縦断形では、大きな水塊を有しており、決壊するとその被害は大きいと想定される。

1. 詳細数値地形図(1mDEM)を用いた侵食様式・量の時間的変化の把握

国土交通省から提供された 2009 年レーザー測量による数値地形図から、多期間の侵食量を計算し、その侵食様式(水流によるもの、地すべりや土石流などの土塊の集団移動などに分類)を 3 次元的に可視化する。

2. ダム建設前の地形の把握と比較的短期間の地形変化の把握

風屋ダムは、1960 年に稼働した。湛水前の地形は、同年発行の 5 万分の 1 地形図による低精度の情報しかない。既往地すべり土塊の脚部の形状は、強震時に脆弱であるかの判断に特に重要であるので、1947 年米軍撮影の空中写真を用いて図化し、現在水面下にある地形情報を得る。また、この地域は、1947、1948、1967、1976、1986 および 1998 年に空中写真撮影が実施されており、これらの写真判読からおよそ 60 年間の斜面崩壊などの地形変化の検出を行う。

3. 既往地すべり土塊を含む不安定土塊の位置検出と現地での確認

前出の図にある既往の地すべり土塊は、写真判読によって検知・記載されたもので、見逃しなどによりすべて検出されているとは限らない。2 - 1 の数値地図での侵食様式が水流による侵食でない集団土塊移動であると考えられる部分を抽出し、流域内の河道縦断形とともに 3 次元的に可視化して、不安定であるか評価を行う。不安定であると評価された土塊とその周辺で現地調査を実施し、亀裂・段差など詳細数値地形でも把握できない崩壊に関連する可能性のある地形的特徴の確認を実施する。

4. ダムを含まない流域との比較

ダム湖に隣接しない既往地すべり土塊および不安定土塊の位置検出を、前記と同様の方法で実施し、ダム湖内に脚部が存在することにより危険度が増加するかについても検討を行う。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

本研究を進める上でまず重要なことは、ダム湖に隣接する斜面に存在する既往の地すべり土塊、あるいは空中写真判読で見落とされている地すべり地、さらに地震あるいは豪雨によって崩壊する可能性のある不安定土塊を検出・抽出することである。これを目的として、詳細数値地形図を用いて、これらの不安定土塊を抽出する方法を開発した。

その結果を、図 1. 風屋ダム湖に隣接する既往地すべり土塊(茶色矢印)と不安定土塊(赤矢印)に示す。開発した手法は、平成 28 年 4 月の熊本地震にも適用され、立野地区に地震によって生じた斜面上の亀裂や地表に出現した地表断層検出にも有効であることが示された。

この開発の過程で、風屋ダムに隣接する斜面の尾根上に、線状構造を有する地形を発見したので、この地形周辺の地質調査とこの扇状構造の地形の現地での確認を行った。

図 2. 線状構造地形と地質図

この線状構造を有する地形は、地質境界とは無関係であることが明らかとなった。この周辺の尾根には、複数の線状構造が存在することが確認できたため、この構造は、南北と東西から圧縮を受ける応力場に生じた断層であるとする事ができる。また、この線状構造は、水流による侵食により、その連続する部分を消失していることが明らかとなった。

また、開発された不安定土塊を検出・抽出する方法を用いて、既往の地すべり土塊を複数抽出し、その時間的な地形変化を追跡することから、それぞれの地すべり土塊の地震による危険度の順をつけることが可能であると考えられる。斜面の解体過程とあわせて、これらの不安定土塊の危険度の順を付す試みを継続している。

- (8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
・ 齊藤隆志・中屋志?・中屋志津男・佐藤比呂志, “ ダムに隣接する地すべり土塊の地震時危険度評価と熊本地震後の斜面変動監視手法開発 ”, 京都大学防災研究所年次発表会梗概, OSK3, 2017. 2.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

齊藤隆志(代表者) 京都大学防災研究所 助教
佐藤比呂志 東京大学地震研究所 教授
他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所
電話：0774-38-4102
e-mail：saitou.takashi.2z@kyoto-u.ac.jp
URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：齊藤隆志
所属：京都大学防災研究所



図 1. 風屋ダム湖に隣接する既往地すべり土塊 (茶色矢印) と不安定土塊 (赤矢印)



図 2. 線状構造地形と地質図

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

実践的人材育成のための防災担当者研修プログラムに関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

火山防災に関する実践的人材育成を目指した研修プログラムの構築のため、複数の県、市町村の防災担当者にヒアリングを実施し、それぞれの自治体で何が問題であり、どのような研修が必要であるかについての意見交換を行う。その中の意見を汲み取った研修会(座学)を開催し、その知識をもとに共通の課題を少人数で議論することによって自発的な問題解決を行い、知識の定着を図る。さらに、火山噴火発生時用の住民等啓発用資料を行政担当者が作成することによってさらなる知識の定着を図る。多数の自治体が関わる富士山を対象とし、以下のように研究を実施する。

【H28 年度】

・これまでの火山防災協議会での議論を元にヒアリングを実施し、座学の内容、演習方法、実施回数について検討する。

・座学と演習を 1 回実施し、その後演習で抽出した課題を考慮した噴火情報伝達演習を実施する。その効果と問題点をアンケート調査等で明らかにする。

【H29 年度】

・自治体職員の実践力を強化するため、地域住民、観光客・登山者のそれぞれに向けた啓発用資料作成の演習とそれを活用した噴火情報伝達演習を 2 回に分けて行う。

・このような研究を通し、どの火山の防災協議会においても参考となる組織づくり時持続可能な研修のあり方についてまとめる。

【研修プログラムの開発・検討】2 年間の実際の研修をとおして、持続可能な防災行政職員の研修プログラムを開発・検討する。開発にあたり、研修内容だけでなく、研修効果を向上させる 1 講座に適した時間、メタ認知を向上させるための「ふりかえり」や「宿題」等のあり方、研修を通じた人的ネットワークの構築方法(研修受講者への資格制度化 等)を実際の研修およびアンケートを通じて検証し、高度化をはかる。さらに防災行政職員向けの噴火を想定した情報演習の開発も合わせて検討する。

【火山防災協議会の理想的なあり方】研修会や研修プログラムの作成を通して火山防災協議会の有効な組織体制に関する検討もあわせて行う。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

富士山周辺市町村では、火山防災行政担当者は2~3年で異動する。これらの担当者は、異動当初、数日の引き継ぎのみで引き継がれ、基礎的な知識等については、火山防災パンフレットや短時間の講演会を聴講するのみである。そのため、知識の伝達や対策の継続性がしばしば滞ることがある。これまでも研修会や図上訓練などを実施することにより、火山防災担当者のスキルを向上させる試みは数多く行われているが、効果が上がっていない場合も多い。図上訓練の効果を上げるには、さまざまな個々の火山や火山防災特有の知識を必要とするが、それらを簡単に提供できる仕組みはない。本研究では、行政担当者が、継続的に知識を取得し、共通課題を共有し、地元の火山噴火に的確に対応できる人材育成を目指した研修プログラムの構築を試みた。

研修プログラムの作成に当たっては、災害の傾向や対応策が火山毎に異なるため、研修すべき項目として「火山噴火と災害の基礎的な知識」と対策をより現実を考えるために実際にあった「噴火対応事例」、現時点で作成されている「噴火に係わる防災計画」、「火山防災情報」を抽出した。またこれらの座学を定着させるために図上訓練を取り入れることとした。また、日程については、ヒアリング結果から個別に開催するよりも火山防災会議協議会等の会議にあわせて半日程度で実施することが望ましいと判断した。上記をもとに、本年度は、山梨県の富士山噴火対策に関係する関係者を対象に富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議の開催に合わせて1月11日の午後に研修プログラムを試行した。研修会の運営はNPO法人火山防災機構に依頼し、研修会には、オブザーバーを含め50名が参加した。まず開会に際し、オリエンテーションを実施し、研修の目的や構成の説明し、座学1として「火山と噴火～当該火山の噴火史や噴火事例等について学ぶ(50分)」、座学2「ハザードと災害～雲仙火山災害を例として～(50分)」、座学3「避難計画について～避難計画に係わる取組を学ぶ(20分)」を実施し、その後、演習としてテーマ：「噴火警戒レベルに応じて実施する対策」と題してワールドカフェ形式の図上訓練(60分)を行い、最後に全体討論会として班毎の発表と講評、アンケートを実施した。

アンケートの結果、火山防災研修のアウトラインとしては、年に1~2回程度実施し、2回の場合は担当者が新規に入れ替わる4月と秋頃に各1回程度、火山防災協議会開催時と同時期に行うのが良いと考えられ、開催時間は演習100分程度を含め半日で収めるようにする方が良い。また内容としては今回実施した内容に加えて、「火山防災情報」や「住民等への広報」等の内容が必要とされる。また運営面では、現時点では行政単独で実施することが可能な内容で検討しているが、持続的に実施する場合においては担当者が変わらない民間事業者等の支援を受けることも有効だと考えられる。

(8)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名：

吉本充宏(代表者) 山梨県富士山科学研究所 主任研究員

藤井敏嗣 山梨県富士山科学研究所 所長

中田節也 東京大学地震研究所 教授

井口正人 京都大学防災研究所 教授

他機関との共同研究の有無：無

(10)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：山梨県富士山科学研究所火山防災研究部

電話：0555-72-6211

e-mail：myoshi@mfri.pref.yamanashi.jp

URL：

(11)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：吉本充宏

所属：山梨県富士山科学研究所火山防災研究部

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

長周期地震動予測のための深部地盤構造モデル化手法の高度化に関する共同研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

2011 年東北地方太平洋沖地震では、首都圏の超高層建物で大振幅の揺れが観測されたこともより、長周期地震動に対する社会的関心が高まっている。また、内閣府による南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動の予測結果が公表され、大規模な平野部では、非常に大きい長周期地震動が予測され、巨大地震の切迫性と安全性に対する社会的な要請から、精度の高い深部地盤構造のモデルに基づく信頼性の高い長周期地震動の予測が求められている。

この共同研究では、共通のテストサイトにおいて微動・地震観測や物理探査を実施し、それらを既存のデータとともに研究参加者で共有し、各自の方法や考え方によって深部地盤構造のモデルを推定する。さらに、各モデルを用いて地震動評価を行い、地震動説明能力を比較し、各モデル化手法の特徴を明らかにする。

東北地方太平洋沖地震では、関東平野の足柄や品川などのいくつかの狭い地域で長周期地震動が局所的に大きくなったことを踏まえて。平成 28 年度には、神奈川県足柄地域を対象として現地調査を実施し、深部地盤の S 波速度構造モデルを推定することを試みる。現地調査では、微動観測、地震観測などを実施する。さらに、既存の地下構造データも収集し、すべてのデータを研究参加者で共有する。これらのデータに各自が研究実績を有している地下構造モデル化手法を適用し、深部地盤構造モデルを推定する。地盤モデルの推定に用いる手法やデータとしては、微動および地震観測による表面波位相速度と群速度、拡散波動場および表面波理論による微動および地震動の水平上下スペクトル比、レシーバー関数、S 波の地盤増幅特性などを考えている。各モデルを用いて東北地方太平洋域地震の地震記録の再現を行い、各地盤モデルの地震動説明能力を比較する。さらに、推定した地下構造モデルに基づく長周期帯域での増幅特性の視点から同地震の際に小田原市の免震建物で生じた被害の原因を解明する。なお、中規模の地震による地震記録の蓄積が十分でない場合には、地震観測の実施に費やす期間を長くするなどの研究計画を変更することを考慮する。

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

2011 年東北地震沖地震では、足柄平野北西部で周期 2 ~ 3 秒の長周期地震動が局所的に大きくなり(津野ほか、2012)、免震住宅に大きな変形を生じさせる主要原因となった(高橋・福和、2013)。本年度

は、足柄平野北西部の南足柄地域をテストサイトとして深部地盤構造を明らかにすることを目的とした共同現地観測を実施した。主な観測は、図1に示すように、9地点での地震観測、5地点での微動アレイ観測、57地点での微動単点観測である。地震観測は、丘陵から低地に分布し、そのうちの3点は長期間に亘って強震観測が継続されている強震観測点(図1の赤)であり、残りの6点は本研究による臨時観測点(図1のオレンジ)である。これらの強震観測点では、平成27年度末まで観測を継続し、連続記録を取得する予定である。微動アレイ観測では、浅部地盤と深部地震のS波速度構造を推定するために、半径数m~1000mのアレイで微動観測を実施した。単点微動観測は、地下構造の空間的变化を明らかにすることを目的として実施され、足柄平野西端部を横切る測線(図1の赤線)と図2のように免震住宅周辺で20m程度おきに設けられた測線で10~30分の微動が計測された。

観測結果の速報として、図3にはMAG(L1)と東の2つのアレイ(L3&L4)で観測された位相速度が示されている。周期1秒付近での位相速度では、地点毎の差異が大きいがわかる。図には、既往の研究(神野、1998)によるL4アレイ付近での位相速度も示されている。両者の関係には大きな矛盾はない。強震観測の結果の速報として、図4には、MAGで3日間に観測された記録のスペクトルを示している。この図には、2017年1月22日に発生したソロモン諸島の遠地震(Mw7.9)の記録も認められ、周波数0.1Hz程度まで微小なレベルの記録が解析に使用でき、上記の微動データと合わせて検討できると考えられる。以上の地震および微動データは、共同研究参加者で共有され、今後、多様な視点から深部地盤構造との関係の検討を各自が実施し、次年度に向けて深部地盤のモデル化の高度化へと議論を深めていく予定である。

- (8)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
津野靖士・地元孝輔・三宅弘恵・佐藤浩章・松島信一・重藤迪子・高井伸雄・神野達夫・瀧澤一起・山中浩明・川瀬博：足柄平野西部における地盤震動特性の評価、平成27年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2017.2
地元孝輔・津野靖士・東貞成・佐藤浩章・重藤迪子・高井伸雄・松島信一・早川崇・山中浩明・川瀬博：K-NET日立近傍における地震と微動観測による地盤震動特性の評価、平成27年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2017.2

- (9)実施機関の参加者氏名または部署等名：
山中浩明(代表者) 東京工業大学 教授
三宅弘恵 東京大学地震研究所 准教授
高井伸雄 北海道大学 准教授
神野達夫 九州大学 教授
地元孝輔 東京工業大学 助教
佐藤浩章 電力中央研究所 上席研究員
津野靖士 鉄道総合技術研究所 副主任研究員
川瀬博 京都大学防災研究所 教授
松島信一 京都大学防災研究所 准教授
瀧澤一起 東京大学地震研究所 教授
他機関との共同研究の有無：無

- (10)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：東京工業大学大学院総合理工学研究科
電話：045-924-5513
e-mail：yamanaka@depe.titech.ac.jp
URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 山中浩明

所属: 東京工業大学大学院総合理工学研究科

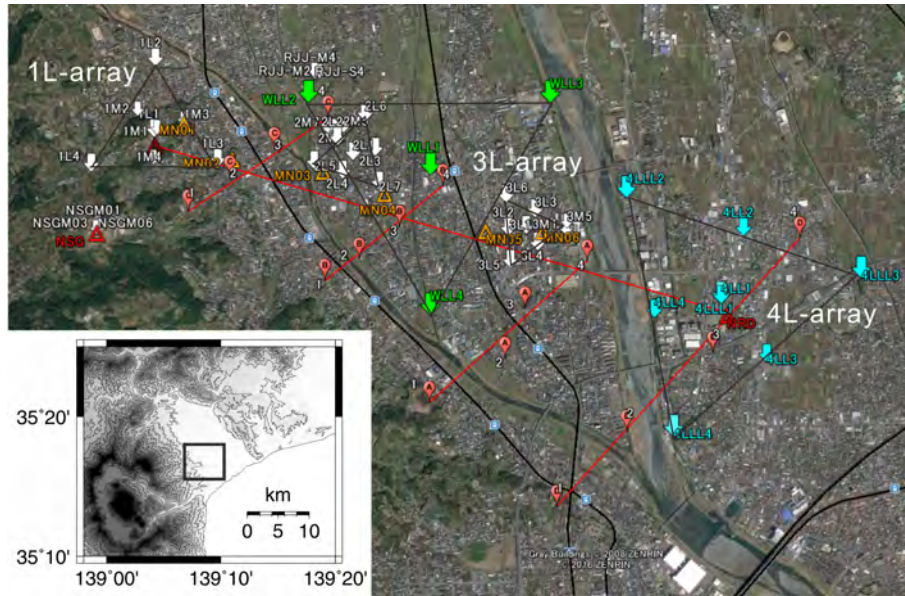


図1 強震観測点と微動観測点の位置



図2 MAG 強震観測点付近の微動単点観測点の位置

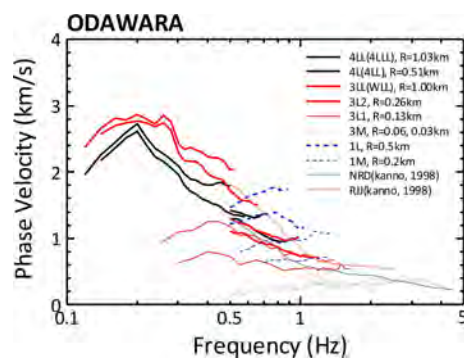


図3 レイリー波の位相速度

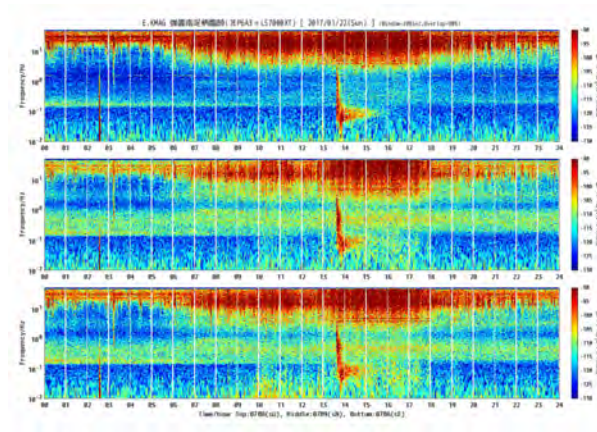


図4 MAGでの強震記録の例(上UD,中NS,下EW)

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

東日本大震災の実経験からの学びを活かした人材育成プログラムの開発と実践

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 28 年度の計画の概要：

ステップ 1 国内外において先行している人材育成の仕組みに関する調査・研究

内閣府による「防災スペシャリスト養成研修」や「地域別総合防災研修」、人と防災未来センターによる「トップフォーラム」や「マネジメントコース」、静岡大学防災総合センターによる「ふじのくに防災フェロー養成講座」等、国内外において先行している人材育成の仕組みや具体的なプログラムの内容に関する調査・分析・研究を行う。

ステップ 2 研修コンテンツの検討・人材育成プログラムの開発

仙台市や宮城県の防災・危機管理部局や教育委員会等、国土交通省東北地方整備局、防災教育日本連絡会、米国 CERT 本部等との連携を図りながら、防災・危機管理を担う多様な人材育成のための研修コンテンツの検討を行い、枠組みや制度を含めた人材育成プログラムの開発を行う。

また、東日本大震災で実際に起きた事例や実体験を教材として、あらゆる事態に適した最善策を討議し導き出す「ケースメソッド」の教育手法の適用を検討する。

ステップ 3 研修テキストの作成とトライアル研修の実践

ステップ 1、2 の研究成果を受け、東日本大震災の被災市町村の防災行政担当者を主な対象としたトライアル研修を実践する。また、トライアル研修の受講者によるニーズや評価結果をプログラム改善のためにフィードバックする。

ステップ 4 研究の進捗および研究成果の情報発信

東北大学災害科学国際研究所の防災教育国際協働センターのウェブページ*を活用し、研究の進捗および研究成果の情報発信を積極的に行う。* <http://dredu-collabo.sakura.ne.jp/>

(7) 平成 28 年度の成果の概要：

成果 1 国内外において先行している人材育成の仕組みに関する調査・研究

神戸まちづくり会館では、神戸防災技術者の会 (K-TEC) から、神戸で学ぶ防災学習プログラムについて、また、人と防災未来センターでは、災害対策専門研修プログラムの概要と発展経緯等について、さらに、神戸新聞では、被災地の新聞社の営業局が主導し阪神淡路大震災から 20 年を機に発足した「117KOBEB ぼうさいマスタープロジェクト」についてヒアリング調査を実施した。これらのヒアリン

グ調査とその分析により、被災地外を対象とした災害伝承ツーリズム、全国の自治体職員を対象とした防災スペシャリスト育成研修、被災地内での若い世代への災害体験の伝承など多様なアプローチについて理解を深める事ができたと同時に、防災人材育成に対する多様かつ高いニーズを確認することができた。加えて、東日本大震災の被災地での実体験からの学びを活かした人材育成プログラムの展開に大いに資する情報を収集することができた。

成果2 研修コンテンツの検討・人材育成プログラムの開発

仙台市や宮城県の防災・危機管理部局や教育委員会等、国土交通省東北地方整備局、防災教育日本連絡会、米国 CERT プログラム等との連携を図りながら、防災・危機管理を担う多様な人材育成のための研修コンテンツの検討を行い、枠組みや制度を含めた人材育成プログラムの開発を行った。

成果3 研修テキストの作成とトライアル研修の実践

成果 1,2 の研究成果を受け、東日本大震災の被災市町村の防災行政担当者を主な対象としたトライアル研修を 2016 年 12 月 19 日 (月)~20 日 (火)、東北大学災害科学国際研究所と国土交通省東北地方整備局の共同主催、宮城県と仙台市の後援により、災害科学国際研究所 2 階演習室にて「市町村・インフラ系企業防災関連担当者研修会~3.11 からの学び塾~」として開催した。危機管理や防災・復興に関わる宮城県内の市町村・インフラ系企業防災関連担当者が、19 日に 21 名、20 日に 23 名参加した。(テレビ報道 2 件、新聞報道 3 件)

成果4 研究の進捗および研究成果の情報発信

東北大学災害科学国際研究所の防災教育国際協働センターのウェブページ*を活用し、研究の進捗および研究成果の情報発信を積極的に行った。*<http://drredu-collabo.sakura.ne.jp/>

(8) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

佐藤 健(代表者) 東北大学災害科学国際研究所 教授

平田 直 東京大学地震研究所 教授

矢守克也 京都大学防災研究所 教授

奥村 誠 東北大学災害科学国際研究所 教授

丸谷浩明 東北大学災害科学国際研究所 教授

増田 聡 東北大学大学院経済学研究科 教授

桜井愛子 東北大学災害科学国際研究所 准教授

小田隆史 宮城教育大学 特任准教授

他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学災害科学国際研究所

電話 : 022-752-2106

e-mail : tsato@irides.tohoku.ac.jp

URL :

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 佐藤 健

所属 : 東北大学災害科学国際研究所

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第 4 期中長期計画期間が終了する平成 34 年度末までの到達目標を記述する。

今後発生が懸念される首都直下地震をはじめとする内陸部を震源とする地震、南海トラフや日本海溝等における海溝型巨大地震およびそれにともなう津波による被害の軽減に向けた研究開発に取り組む。具体的には、室内実験および大規模シミュレーション等の成果に基づき、地震発生長期評価の高度化に資する地震発生モデルを構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第 4 期中長期計画期間前半の平成 31 年度末までの計画概要を記述する。

室内実験によって明らかにした破壊法則や観測から得られた地震発生場等の知見を大規模シミュレーションに組み込み、南海トラフにおける海溝型巨大地震、及び内陸大地震の発生多様性を検討し、大地震発生シナリオ作成の高度化を実現する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

平成 28 年熊本地震に関し、4 月 16 日に発生した M7.3 の地震の破壊過程及び短周期地震動生成域を、KNET/KiKnet 強震記録を用いたバックプロジェクション法によって推定した。布田川 - 日奈久断層帯周辺で発生した地震のメカニズム解を用いて、その地域における主応力方向の空間分布およびその時間発展を推定した。また、前震による応力変化を考慮した本震の動的破壊伝播の数値シミュレーションをおこない、本震断層面の摩擦パラメータと広域応力場を明らかにするとともに、前震の本震への影響と地表面の影響とを明らかにした。さらに、断層近傍の地震波形記録から D_c を推定し、その値がこれまでの結果と整合的であることを明らかにした。和歌山県新宮で水圧破砕法により測定された地殻応力値に対し、岩石の引っ張り強度を考慮した修正をおこなった。

防災科学技術研究所が所有する大型振動台を利用した岩石摩擦実験の歪データを解析して、伝播する破壊先端の非弾性領域の長さ (Cohesive zone length) を推定し、それが破壊伝播速度に依存していることを明らかにした。また、数値シミュレーションを活用し、観測された歪データを補正して模擬断層面上の真の摩擦値を推定する方法を開発した。さらに弾性波の観測データも解析して、断層面の状態がスロースリップや前震の活動に大きく影響することを明らかにした。新規に 4 m 長の岩石試料を用いた摩擦試験機を構築し、その調整と静的性能評価とをおこなって予備実験を実施した。

アジア太平洋地域において SWIFT-TSUNAMI システムを運用するとともに、観測データの自動選択手法を改良して SWIFT の自動 CMT 解の精度を向上させた。

大型岩石摩擦実験の観測データを数値シミュレーションで再現することにより岩石の摩擦パラメータを推定し、摩擦パラメータが累積変位と载荷速度に依存することを明らかにした。自由表面を考慮した力学的断層破壊理論に基づき、沈み込み帯で発生した主破壊が浅部に向け拡大するにつれて励起される分岐断層が逆断層型から正断層型に遷移することを明らかにした。巨大地震発生時の海域観測記録を理論的に合成する手法を開発し、2011 年東北地震における仮想 S-net 観測点の海底水圧記録を理論合成した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

- Fukuyama, E. and W. Suzuki, 2016, Near-fault deformation and D_c during the 2016 Mw7.1 Kumamoto earthquake, *Earth, Planets and Space*, 10.1186/s40623-016-0570-6.
- Fukuyama, E., S. Xu, F. Yamashita, and K. Mizoguchi, 2016, Cohesive zone length of metagabbro at supershear rupture velocity, *J. of Seismology (Special Issue: Imaging Earthquakes and Earth Structure Through Waves, Honoring Professor Raul Madariaga)*, 20(4), 1207-1215, doi:10.1007/s10950-016-9588-2.
- Inazu, D., N. Pulido, E. Fukuyama, T. Saito, J. Senda, and H. Kumagai, 2016, Near-field tsunami forecast system based on near real-time seismic moment tensor estimation in the regions of Indonesia, the Philippines, and Chile, *Earth, Planets and Space*, 68:73, doi:10.1186/s40623-016-0445-x.
- Kim, S., T. Saito, E. Fukuyama, and T.-S. Kang, 2016, The Nankai Trough earthquake tsunamis in Korea: numerical studies of the 1707 Hiei earthquake and physics-based scenarios, *Earth, Planets and Space*, 68:64, doi:10.1186/s40623-016-0438-9.
- Saito, T. and H. Tsushima, 2016, Synthesizing ocean bottom pressure records including seismic wave and tsunami contributions: Towards realistic tests of monitoring systems, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2016JB013195.
- Sakai T., H. Kumagai, N. Pulido, J. Bonita, and M. Nakano, 2016, Discriminating non-seismic long-period pulses and noise to improve earthquake source inversion, *Earth, Planets and Space*, 68:50, 1-14, doi:10.1186/s40623-016-0426.
- Sawazaki, K., T. Saito, T. Ueno, 2016, Estimation of seismic velocity changes at different depths associated with the 2014 Northern Nagano Prefecture earthquake, Japan (MW 6.2) by joint interferometric analysis of NIED Hi-net and KiK-net records, *Progress in Earth and Planetary Sci.*, doi:10.1186/s40645-016-0112-7.

- Suzuki W., N. Pulido, and S. Aoi, 2016, Rupture Process and Strong-Motion Generation of the 2014 Iquique, Northern Chile, Earthquake, *J. Earthquake and Tsunami*, 10(3), 1-19, doi:10.1142/S179343111640008X.
- Takemura, S, K. Shiomi, T. Kimura, and T. Saito, 2016, Systematic difference between first-motion and waveform-inversion solutions for shallow offshore earthquakes due to a low-angle dipping slab, *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-016-0527-9.
- Urata, Y., F. Yamashita, E. Fukuyama, H. Noda, and K. Mizoguchi, 2016, Apparent dependence of rate- and state-dependent friction parameters on loading velocity and cumulative displacement inferred from large-scale biaxial friction experiments, *Pure Appl. Geophys.*, 10.1007/s00024-016-1422-9.
- Xu, S., E. Fukuyama, H. Yue, and J.-P. Ampuero, 2016. Simple crack models explain deformation induced by subduction zone megathrust earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 106(5), 2275-2289, doi: 10.1785/0120160079.
- Yoshida, K., A. Hasegawa, T. Saito, Y. Asano, S. Tanaka, K. Sawazaki, Y. Urata, and E. Fukuyama, 2016, Stress rotations due to the M6.5 foreshock and M7.3 main shock in the 2016 Kumamoto, SW Japan, earthquake sequence, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2016GL070581.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

熊本地震の動的破壊伝播モデリング、破壊伝播過程、短周期地震動生成域推定の精緻化をおこなう。主に南海トラフをターゲットとし、拡充された測地データと粘性緩和効果とを取り入れた応力分推定手法の開発をおこなう。四国西部で推定された比抵抗構造変化のうち地震活動に関連するものの同定に取り組む。長大な岩石試料を用いた摩擦実験を実施し実スケールに近い環境での摩擦パラメータの推定を試みる。大型振動台を用いたガウジ摩擦実験に向けた準備を進める。中南米地域において SWIFT システムを運用し、中南米で発生する M6 以上の地震メカニズムの自動及び手動解析を行う。アジア太平洋地域において SWIFT-TSUNAMI システムを運用するとともに、同地域で発生した過去の巨大地震の震源パラメータ及び津波伝播の推定を行い、巨大地震のスケールリングに関する研究をおこなう。ボゴタ周辺の地震活動 (2007 年 ~ 2016 年) 及び 2008 年 8 月 24 日コロンビア中部地震 (M5.9) の余震の詳細な震源パラメータ解析を行う。沖合・震源域内の海面変位分布と高解像度地形モデルを用いた固液複合波動場計算を実施する。動力学的断層破壊シミュレーションと波動伝播シミュレーションの統合に向けた研究をおこなう。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人防災科学技術研究所地震津波防災研究部門
他機関との共同研究の有無 : 有
立命館大学
名古屋大学
電力中央研究所
インドネシア気象気候地球物理庁
フィリピン地震火山研究所
コロンビア地質調査所

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災科学技術研究所 企画部広報課
電話 : 029-851-7611
e-mail : toiwase@bosai.go.jp
URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：山下太

所属：防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

基盤地震観測等データのモニタリングによる地殻活動の理解と予測技術の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標 :

基盤的地震・津波観測網により得られる海陸統合のデータに加えて、海外を含む様々な機関のデータや必要に応じてそれらを補完する機動的な調査観測のデータを最大限活用した研究開発を実施することにより、地震及び津波に係る防災・減災に貢献することを目指す。とくに、基盤的地震・津波観測網等より得られるデータのモニタリング研究より、多様な情報からなる地震カタログの作成を進めるとともに、地震発生の長期評価の発展につながる地震発生モデル構築を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

基盤的地震・津波観測網および必要に応じて行われる機動的な調査観測、国内外の機関より得られるデータから、地震、低周波地震、超低周波地震、スロースリップイベントについてイベント検出および震源位置、震源メカニズム解、断層モデルの推定等を行い、その活動状況をモニタリングすることで多様な情報からなる地震カタログを随時作成する。とくに、地震や、低周波地震、スロースリップイベント等のカタログから得られる、プレートの固着や応力の状況、地震発生域周辺における構造等の情報は、地震発生の長期評価に資する可能性が考えられる。そのため、これらのモニタリングおよび解析手法の開発を進めるとともに、防災科学技術研究所による別課題(「巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究」)とも協力し、モニタリング成果を活かした地震発生モデル構築および数値シミュレーション研究を行う。本課題による成果については、国民に対して分かりやすく情報発信を行うとともに、地震調査委員会、地震予知連絡会等に随時提供される。なお、本課題は防災科学技術研究所の中期計画に基づく運営費交付金によるプロジェクト研究の一部として実施される。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

2016年4月1日に三重県南東沖で発生した地震について、その震源メカニズム解、余震の分布を詳細に解析した。2016年熊本地震については、機動的な観測を行った。さらに、震源メカニズム解、地震活動の詳細な分布、地震時すべり分布等について解析を行った。これらの成果について、地震調査委員会、地震予知連絡会等政府の委員会に随時提供した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人防災科学技術研究所地震津波防災研究部門
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災科学技術研究所 企画部広報課
電話 : 029-851-1611
e-mail : toiwase@bosai.go.jp
URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 松澤孝紀
所属 : 防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

噴火予測システムの開発に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

基盤的火山観測網・リモートセンシング技術等による多項目の火山観測データの活用、火山活動及び火山災害の推移を予測する技術開発、火山災害による被害の軽減につなげるためのリスクコミュニケーションの在り方に関する研究を実施し、火山災害軽減のための技術開発を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、防災科学技術研究所の中期計画に基づいたものである。

基盤的火山観測網、火山ガス・地殻変動・温度の把握を目的としたリモートセンシング技術等による多項目の火山観測データを活用し、多様な火山現象のメカニズムの解明や火山災害過程を把握するための研究開発を進める。

また、事象系統樹は、地域住民、地方公共団体や政府が、噴火災害の恐れのある噴火活動に対して、その火山活動や噴火現象の推移の全体像を把握し、適切な判断をする基本となるもので、社会的に重要である。この事象系統樹による推移予測技術の開発、実験的・数値的手法による多様な火山現象を再現する物理モデルの構築などにより、火山活動及び火山災害の推移を予測する技術開発を実施する。さらに、水蒸気噴火の先行現象の研究等に資するため、火口付近を含む火山体周辺において火山観測網を補完する機動的な調査観測を行うほか、噴火様式の変化を早期に捉えるため、遠隔で火山ガスや火山灰等の分析を行うモニタリング技術を開発する。

災害リスク情報に関する研究と連携し、火山活動と火山災害に関する空間的・時間的情報を一元化し、火山防災に関わる住民・国・地方公共団体・研究機関が迅速に共有・利活用できるシステムを開発する。また、火山専門家の知見を社会に効果的に伝える手法の開発等、火山災害による被害の軽減につなげるためのリスクコミュニケーションの在り方に関する研究を実施する。国内の火山研究の活

性化と成果の社会実装を推進するため、大学・研究機関・火山防災協議会等との連携を強化し、研究実施体制の強化・充実を図る。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

1 . 多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究

H 2 7 年頃から噴火活動が活発化しており、H 2 8 には近傍で熊本地震 (M7.3) が発生した阿蘇山を主な対象として研究を進めた。阿蘇山において機動観測を実施するとともに、噴火に伴って発生した空振、地震動、噴出物等を調査して、噴火の発生メカニズムの解明等を進めた。特に阿蘇山周辺に 19 臨時観測点を整備し、これを基盤とした検討を行った。

2 . 火山リモートセンシング技術の開発

InSAR 解析を主として阿蘇山周辺の活動評価を行った。また、地上設置型レーダー干渉計観測・解析技術の開発、ARTS-SE 解析技術の開発、望遠分光技術の開発に関する検討に着手した。

3 . 噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究

伊豆大島・三宅島の火砕物による流動実験の設計を行った。阿蘇山を対象とした火山噴出物の分析を行った。また、阿蘇山を対象とした噴火ポテンシャル評価のための地震・火山噴火連動性評価を行った。

4 . 火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究

過去の国内外で発生した火山災害に関する情報・文献(論文や報告書等)を収集し、整理した。阿蘇山など、近年噴火を経験した自治体防災担当者や火山専門家に対するヒアリング調査を実施し、現在の火山防災対策の課題を整理した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

1 . 多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究

引き続き、阿蘇山を主な対象として研究を進める。V-net 等の既存の観測網のデータ、それを補完する機動観測等のデータを活用し、噴火や地下のマグマの活動等に関連する現象を捉える技術を開発する。

2 . 火山リモートセンシング技術の開発研究

地上設置型レーダー干渉計観測データ自動処理システムへの時系列解析手法の組み込みを行う。

ARTS-SE のカメラセンサデータの処理手法の開発(赤外データの SfM/MVS 技術を開発、火成岩の赤外分光放射率計測)を行う。望遠画像分光装置(紫外可視域)装置のセンサ部開発を行う。

3 . 噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究

阿蘇山を対象とした、水蒸気噴火過程の解明に向けた火山噴出物の構成鉱物解析を行う。伊豆大島・三宅島の火砕物による流動実験を踏まえ、流動現象評価のためのモデルを提案する。阿蘇山を対象とした噴火ポテンシャル評価のための地震・火山噴火連動性評価を進める。

4 . 火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究

火山災害に関わるステークホルダー(火山の専門家と非専門家(住民,自治体,観光客,登山客,マスコミ))のうち、非専門家を対象とした周知啓発活動・アウトリーチ活動を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人防災科学技術研究所火山防災研究部門

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災科学技術研究所 企画部広報課

電話 : 029-851-1611

e-mail : toiawase@bosai.go.jp

URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 藤田英輔

所属 : 防災科学技術研究所 火山防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

基盤的地震・火山観測網の整備・維持及び超大容量の地震・火山観測データの効率的流通システムの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本列島周辺で発生する地震現象の予測精度を向上させるためには、現在発生している現象を適確に把握し、モデル構築等に有効な観測データを提供することが不可欠である。より詳細な微小地震活動は、全てのモデルの基礎データとなり得るものである。したがって、地震調査研究推進本部の地震調査研究に関する総合基本施策及び調査観測計画を踏まえて、陸域の地震観測網(高感度地震観測網、広帯域地震観測網、強震観測網等)と海域の地震観測網(日本海溝海底地震津波観測網(S-net)、地震・津波観測監視システム(DONET))を一元化した海陸の基盤的地震観測網の安定的運用を行うとともに、関連施設の更新を図る。また、「今後の大学等における火山観測研究の当面の進め方について」(平成 20 年 12 月、科学技術・学術審議会測地学分科会火山部会)及び「御嶽山の噴火を踏まえた火山観測研究の課題と対応について」(平成 26 年 11 月、科学技術・学術審議会測地学分科会地震火山部会)に基づき、重点的に強化すべき火山について観測施設の整備・運用を推進する。観測データの

関係機関との共有や利用促進を図り、国内外の関係機関における研究、業務遂行や我が国の地震・津波及び火山に関する調査研究の進展に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

防災科学技術研究所は、世界最大規模の稠密かつ高精度な陸域及び海域の基盤的地震・津波観測網を安定的に運用するとともに、さらに日本海溝海底地震津波観測網の整備を行う。

既存の火山観測施設や基盤的火山観測網を含め、重点的に観測を強化すべき火山について観測施設の整備・運用を行う。これにより得られる観測データについては、全国の大学が運用する観測網のデータとの共有化を進め、大学等の火山防災の基礎研究の振興や気象庁の監視業務の推進、さらには地方防災行政の関係機関の情報共有化に貢献する。

地震・津波防災研究の中核的機関として国内外の機関とも連携し、日本における地震観測データを集約・公開・解析し、得られた地震津波防災情報等を国民に対して分かりやすく情報発信を行うとともに、政府関係委員会等への資料を提供することにより、国民の安全・安心と社会の安定的発展に貢献する。地震・火山観測網により得られたデータは定期的に蓄積し、波形データベースを構築する。また、モニタリングの結果などをもとに地震波速度構造をはじめとする「日本列島標準モデル」を構築する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

防災科学技術研究所(防災科研)は、高感度地震観測網(Hi-net)・広帯域観測網(F-net)・強震観測網(KiK-net, K-NET)の陸域の基盤的地震観測網を安定的に運用している。これらの良質な地震等の観測データの流通を図り、関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献した。日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の構築に関して、平成28年度については、海溝軸外側(北海道沖～千葉県)の敷設工事を行った。平成27年度までに整備を行った海溝軸外側以外の5海域125観測点については、試験運用を開始し、気象庁にもデータの配信を開始した。海洋研究開発機構によって整備された地震・津波観測監視システム(DONET)については、平成28年4月1日より防災科研に移管された。昨年度から引き続き潮岬沖に観測点1点を増設し、地震計の埋設作業を進めることで、観測網の機能向上を進めた。DONETの運用・管理及び観測データの流通を継続させると同時につくば本所のデータセンターへの集約を進め、海陸観測網統合処理体制の基盤を構築するとともに、今後の利活用を発展させる準備を整えた。

重点的に観測を強化すべき火山に整備した基盤的火山観測網(V-net)について、故障、老朽化した観測機器の更新を行い安定運用に努め、観測データの大学や気象庁への流通を図り、関係機関の研究や火山監視業務等に貢献した。熊本地震で被害を受けた阿蘇山の火山観測施設については速やかな復旧を行った。

これらの防災科研の地震・火山観測網及び大学・気象庁等の関係機関により得られた波形データを定期的に蓄積し、防災科研のホームページから公開している。

海底地震津波観測網であるDONET及びS-netの特性を最大限活かして、海域で発生した地震と地震に伴って発生した津波に関して調査研究を行った。

4月1日に三重県南東沖でMJMA6.5の地震が発生し、本震に伴う余震と津波がDONETによって観測された。得られた余震分布の時間変化から、本震が発生した直後、10 km離れた北側で余震が発生し、余震が南西方向に移動する様子が捉えられた。一旦収まった後、4月19日に改めて活発化し、南西方向に拡大する特徴が見られた。さらに、本震よりも海側では20 km以上も離れたところで超低周波地震が発生した。観測された津波の高さからこの地震の断層の大きさは4x8 km程度の大きさと考えられるが、余震はこの断層から離れた場所に分布している。このことから、本震発生により生成されたひずみは余震を起こすことなく南北に伝搬し、その結果、余震や超低周波地震が発生したと考えられる。さらに、この地域全体での地震活動頻度には影響を及ぼさなかったことから、この地域のプレートの固着の度合いはかなり弱いと考えられる。また、津波波源の重心位置に相当する位置を推定するためのTsunami Centroid Locationが地震発生から7分後に一定の位置に収束することを確認した。

8月20日に三陸沖の深さ10kmでMJMA6.4の地震が発生し、本震に伴う余震と津波がS-netによって観測された。S-netでは、陸域の観測網であるHi-netよりも18秒早くP波走時の読み取りが可能であることを確認し、また、三陸沖から青森沖の海域において4か所程度でクラスター状の震源分布を得た。そのうち最も活発な海域ではM6クラスの地震が2回発生しており、この海域では1994年三陸はるか沖地震が発生しているが、今回の一連の地震活動は東西方向に活動域が広がらず狭い範囲の活動にとどまっている。また、水圧計で1cm程度の津波が観測され、F-netのメカニズム解から計算される津波波形との整合性を確認した。

9月23日に関東東方沖(プレート三重会合点付近)の深さ15kmでMJMA6.7の地震が発生し、地震活動が活発化した。本震及び余震の地震波をS-net及びHi-netで観測し、余震分布を得た。9月23・24日と9月25日以降では震源がプレートに沿って北西方向に移動するとともに、メカニズムが逆断層から横ずれ型に変化した。また、水圧計で数cm程度の津波が観測され、F-netのメカニズム解から計算される津波波形との整合性を確認した。

11月22日に福島県沖で発生したMJMA7.4の地震の本震及び余震の地震波をS-net, F-net及びHi-netで観測し、それぞれ正断層型のメカニズムと余震分布を得た。余震は、本震の震央に対して南西方向に約30kmの範囲で広がり、深さは30km以浅に集中している。余震域の南東側は深い場所に震源が決まっており、余震は本震の断層面の延長線上の深い場所に面状に分布した。また、S-netの水圧計で津波が観測され、震央から第一波が30分程度かけて伝播していく様子が捉えられた。加えて、第一波到来から40~60分後に明瞭な第二波が到来しており、観測点によっては第一波と同程度以上の津波が生じていた。

遠地で発生した地震による津波も観測された。例えば、7月30日(日本時間)に北マリアナ諸島付近の深さ196kmで発生したM7.7の地震によって生じた津波が、地震発生から約2時間半から3時間後にDONETで観測された。観測された津波はわずか数mm程度で、DONETの海底水圧計が非常に高い感度を持っていることが示された。

東北地方太平洋沖地震の余震も含めた沖合いの地震を防災科研F-netのモーメントテンソル解により決められた震源の深さに固定して地震波トモグラフィ解析に活用することにより、太平洋の下の地震波速度構造モデルを構築した。地震から陸域の観測点までの波線は深くもぐるため、深さ30km以深の構造モデルが求められた。

2016年熊本地震とその余震について、Double-Difference法を用いて震源再決定をした。布多川断層の北東端と阿蘇カルデラの間には低速度領域が広がっており(Matsubara and Obara, 2011)、2016年熊本地震の余震は少ない。しかし、日本全国高分解能再決定震源カタログ(JUICE)においてはこの領域においても地震活動が見られる。このことから、この領域の余震が少ない理由としては、阿蘇山からの噴出物の堆積による低速度領域の存在ではなく、熊本地震の地震時すべり域のため、余震が少ないと考えられる。

2016年10月21日鳥取県中部の地震について、鳥取県西部地震で解析された速度構造を用いてDouble-Difference法による震源再決定を実施した。中国地方の日本海側では東西に微小地震活動が連続的に見られる。1943年鳥取地震の震源断層は東西走向の断層であるが、鳥取県中部の地震波の鳥取地震の断層西端からさらに約10km西方で発生した。鳥取県中部における地震活動は、鳥取地震の断層とは共役の北北西-南南東走向の断層による地震であることが明らかとなった。また、約1ヶ月前の9月下旬にも近傍で微小地震活動が見られたが、この地震活動は10月21日の断層から約1km西方の別の断層で発生していることが明らかとなった。

地震調査委員会・地震防災対策強化地域判定会・地震予知連絡会、火山噴火予知連絡会へ、「広帯域地震計を用いたモーメントテンソル解析結果」や「関東・東海地域の地震活動」等の資料を提供した。地震活動などの資料に加えて2016年4月1日三重県南東沖の地震、2016年熊本地震、2016年6月16日の内浦湾の地震、2016年8月20日三陸沖の地震、2016年11月22日福島沖の地震・2016年10月21日鳥取県中部の地震等については別途資料を提出した。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Matsubara M., H. Sato, T. Ishiyama, and A. D. Van Horne (2016) Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, *Tectonophysics*, in press, doi:10.1016/j.tecto.2016.11.025.
- Nakano, M., T. Hori, E. Araki, N. Takahashi and S. Kodaira (2016) Ocean floor networks capture low-frequency earthquake event, *Eos*, 97, doi:10.1029/2016EO052877
- Suzuki, K., M. Nakano, N. Takahashi, T. Hori, S. Kamiya, E. Araki, R. Nakata and Y. Kaneda (2016) Synchronous changes in the seismicity rate and ocean-bottom hydrostatic pressures along the Nankai trough: A possible slow slip event detected by the Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET). *Tectonophysics*, 680, p. 90-98, doi:10.1016/j.tecto.2016.05.012
- Takaesu, M., H. Horikawa, K. Sueki, N. Takahashi, A. Sonoda and S. Tsuboi (2016) Development of a Web Application System for Seismic Waveform Data Observed in Real Time With the Seafloor Seismic Network DONET, *Marine Technology Society Journal*, 50, 3, 87-91, doi:10.4031/MTSJ.50.3.14
- Yamamoto, N., S. Aoi, K. Hirata, W. Suzuki, T. Kunugi and H. Nakamura (2016) Multi-index method using offshore ocean-bottom pressure data for real-time tsunami forecast, *Earth, Planets and Space*, 68(1), 128, doi:10.1186/s40623-016-0500-7
- Yamamoto, N., K. Hirata, S. Aoi, W. Suzuki, H. Nakamura and T. Kunugi (2016) Rapid estimation of tsunami source centroid location using a dense offshore observation network, *Geophysical Research Letter*, 43(9), 4263-4269, doi:10.1002/2016GL068169

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

防災科学技術研究所は、引き続き、陸域の基盤的地震観測網(高感度地震観測網(Hi-net)、強震観測網(K-NET)・基盤強震観測網(KiK-net)・広帯域地震観測網(F-net))・海域の基盤的観測網(日本海溝海底地震津波観測網(S-net)・地震・津波観測監視システム(DONET))について安定的な運用を継続するとともに、海陸統合データベースを構築し、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。

既存の火山観測施設や基盤的火山観測網を含め、重点的に観測を強化すべき火山について観測施設の運用を行いつつ、これにより得られる観測データについては、全国の大学が運用する観測網のデータとの共有化を引き続き進め、大学等の火山防災の基礎研究の振興や気象庁の監視業務の推進、さらには地方防災行政の関係機関の情報共有化に貢献する。

地震・火山観測網により得られたデータは定常的に蓄積し、波形データベースを構築する。また、「日本列島標準モデル」に組み込む各種構造の推定・整備を進める。また、前年度に引き続き、JUICE等の震源カタログの整備を進める。

地震・火山観測データを用いた解析結果等については、発災時を含め地震調査委員会等の関係機関へ速やかに提供する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人防災科学技術研究所地震津波防災研究部門
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災科学技術研究所 企画部広報課
電話 : 029-851-1611
e-mail : toiwase@bosai.go.jp
URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 松原 誠

所属 : 防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山活動把握のためのリモートセンシング観測・解析技術に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

衛星搭載型 SAR と地上設置型レーダー干渉計による火山活動把握に関する研究

SAR データから火山性地殻変動を mm/yr レベルの精度で求めるため、永続散乱体 SAR 干渉法等に関する高度解析技術を開発する。また、平成 26 年度に打ち上げ予定の「だいち 2 号」(ALOS-2)等の SAR データを用いて、高精度地殻変動情報(3次元地殻変動など)を得るための技術を開発する。また、火山活動の活発化が発生した場合には、これまでに開発した技術を用いて、それに伴う地殻変動を検出する。さらに、火口周辺の地表変動を遠隔地から面的かつ高頻度にモニタリングすることを目的とし、地上設置型レーダー干渉計を用いた観測技術を開発する。

航空機搭載型光学センサーに関する研究

火山ガス・温度等の把握を目的とした航空機搭載型光学センサーの観測・解析技術の開発として、小型単発機に搭載可能なセンサーに関する技術開発を進め、同センサーの実現と同センサーによる火山観測を実現する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 28 年度においては、浅間山に設置した地上設置型レーダー干渉計観測システムの初期性能評価を行うと共に、準リアルタイムで解析を行うシステムを構築する。また、平成 27 年度に単発航空機への搭載許可を取得した改良型 ARTS(ARTS-SE)のカメラセンサデータの処理手法を開発する。

平成 29 年度においては、地上設置型レーダー干渉計のデータ解析における大気遅延誤差軽減手法を開発する。また、ARTS-SE のスキャナセンサデータの処理手法を開発する。

平成 30 年度においては、地上設置型レーダー干渉計観測データの時系列解析手法を開発する。また、ARTS-SE のカメラセンサデータとスキャナセンサデータの融合解析処理手法を開発する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

防災科研においては、新たな地表変動モニタリング技術として、地上設置型レーダー干渉計 (GBRI: Ground-based radar interferometer) の研究を開始した。GBRI は地上に設置したアンテナからレーダー波を照射し、観測対象からの後方散乱波を受信するセンサーである。さらに、得られたレーダー画像の各画素に格納される位相の時間変化から、アンテナと散乱点との距離の変化を面的に検出することが可能である。本研究においては、合成開口レーダー型 (LiSA Lab 社製 LiSA mobile k09) と実開口レーダー型 (Gamma Remote Sensing 社製 GPRI2) の 2 台の GBRI から構成される GBRI 観測システムを浅間山の山麓に設置した。平成 28 年度においては、その初期性能評価を実施し、植生がほとんどない火口周辺においては、30 日間のデータペアにおいても、地殻変動検出が可能なほどの干渉性が得られることを確認した。まばらに草が生える中腹においては時間の経過とともに干渉性が劣化し、30 日間の干渉ペアにおいては、地殻変動検出が困難なほどの干渉性劣化がみられた。樹林帯においては、1 時間以内に干渉性が著しく劣化し、地殻変動検出は困難であった。また、悪天候時においては、著しく干渉性が劣化する現象がみられた。これは降雨により、レーダー波が減衰するためと考えられる。現時点における解析においては、大気遅延等によるノイズの軽減手法を適用しておらず、このような解析によっては、3cm を超えるような非地殻変動成分が重畳する可能性があることが確かめられた。

衛星 SAR の解析においては、陸域観測技術衛星「だいち 2 号」(ALOS-2) のデータを用いて、熊本地震に伴う地殻変動を検出した。得られた地殻変動は、布田川断層と日奈久断層の北端部、布田川断層の東端から北東に伸びる断層の右横ずれと、西原村付近の低角の断層の正断層成分を伴う右横ずれによっておおよそ説明することができることが分かった。この結果に基づき、熊本地震に伴う地殻変動が阿蘇山のマグマだまりに与える影響を見積もった。その結果から、以下の 2 つが推測された。(1) 仮定した球形のマグマシステムは楕円形に変形し、体積はわずかに増加した。(2) マグマシステム上部付近の差応力の変化はおおよそ 3.5MPa であった。

航空機搭載型光学センサーに関する研究においては、防災科学技術研究所の第 4 期中期計画に基づき、平成 27 年度に航空機搭載許可を取得した小型単発機に搭載可能なセンサー : ARTS-SE の試験観測データ (2015/11/19 (名古屋) , 2015/11/27 (安城市) , 2015/11/29 (浅間山) , 2015/12/5 (箱根山)) を用い、ARTS-SE のカメラ型センサーデータの処理手法の開発 (可視データの SfM/MVS 技術の開発) を実施し、各観測データより DSM を作成した。現在その精度を既存の DEM 等を用い評価中である。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Ozawa, T., E. Fujita, and H. Ueda, 2016, Crustal deformation associated with the 2016 Kumamoto Earthquake and its effect on the magma system of Aso volcano, Earth Planets Space, 68:186, doi:10.1186/s40623-016-0563-5.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

地上設置型レーダー干渉計による地殻変動モニタリング技術の研究においては、時系列解析手法等を用いて、大気遅延ノイズを軽減する手法について開発を進める。また、火山活動の活発化が発生した場合には、これまでに開発した技術を用いて、それに伴う地殻変動を検出する。航空機搭載型光学センサーに関する研究においては、小型単発機に搭載可能なセンサー : ARTS-SE を用いた火山観測技術開発として、ARTS-SE のカメラ型センサーデータの処理手法の開発 (赤外データの SfM/MVS 技術の開発) を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人防災科学技術研究所火山防災研究部門
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：防災科学技術研究所 企画部広報課

電話：029-851-7611

e-mail：toiawase@bosai.go.jp

URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：小澤拓

所属：防災科学技術研究所 火山防災研究部門

(1) 実施機関名：

海洋研究開発機構

(2) 研究課題(または観測項目)名：

先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

(第三期中期目標より抜粋)

地球深部探査船「ちきゅう」等による海洋掘削により、これまで人類が到達できなかった海底下深部において得られた知見を最大限に活用し、新たな科学的命題を解決するための研究開発を行い、国際深海科学掘削計画(International Ocean Discovery Program : IODP)の科学プランの達成に重要な役割を果たす。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

本研究課題は当機構の運営費交付金及び受託研究「東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測」等により得られたデータや成果を利用して実施。

(第三期中期計画より関連部分を抜粋)

1) 先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進

海洋掘削の技術開発は、海底下という未踏のフロンティアへのアプローチを可能なものとし、その結果、多数の研究課題が生まれている。それらを解決するため、国際深海科学掘削計画 (IODP) を推進し、「ちきゅう」等による海洋掘削を行うとともに、地球を構成する物質の直接採取、分析及び現場観測を実施し、数値解析手法やモデリング手法等を用いることで、海洋・地球・生命を関連させた全地球内部ダイナミクスモデルの構築とその理解の推進を図り、多様な探査と地球深部への掘削により掘削科学の新たな可能性を切り拓く。さらに、海洋掘削に関する総合的な知見に基づき、今後需要が増すと見込まれる超深度掘削技術の発展に寄与する。

(イ) 掘削試料・掘削孔を利用した地殻活動及び物質循環の動態解明

スケールの異なる各種試料やデータを高精度・高分解能で分析できる手法を構築するとともに、掘削科学の推進に不可欠な掘削技術・計測技術、大深度掘削を可能とする基盤技術を開発する。また、海底観測や広域地球物理探査等によって得られるデータに、掘削孔内において取得される多様なデータや現場実験結果を加えることにより、海底下の構造や性質を立体的に把握し、それらの変動機構の理解につながる仮説を構築する。さらに、仮説の有効性を確認するために、得られたデータ等を用いた数値シミュレーションを実施する。

(ロ) 海洋・大陸のプレート及びマグマの生成並びにそれらの変遷過程の解明

活動的なプレート境界である日本列島周辺海域等において、プレートが生成されてから地球内部に向けて沈み込むまでの構造及びプレート自体の変遷や挙動、沈み込み帯を中心としたプレートと断層の運動に伴い発生する諸現象及びプレート・地球内部のマグマ生成、マントル対流とプレートとの関連等の解明に貢献する研究開発を IODP 等とも連携しつつ推進する。

(ホ) 掘削科学による新たな地球内部の動態解明

海底掘削試料等の精密化学分析により提唱され始めた新たな地球内部の構造の存在について、マントル・コアの精密な物理・化学・地質探査を実施し、平成 28 年度を目途にその構造の概要を把握する。また、マントル運動及びプレート運動等に与える影響を分析し、観測及び数値シミュレーションを組み合わせることにより、地球表層及びマントルの大規模運動を評価する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

平成 28 年度は、本課題 5 か年計画に基づき以下の調査研究を実施した :

南海トラフ三次元探査データ再処理, 分岐断層の詳細形態と物性値取得した

掘削試料の摩擦強度計測と数値計算から, 南海トラフ先端部で 30m 以上の大きな滑りが生じうることを示した

南海トラフ地震発生帯掘削のデータ統合 (孔内状況モニタリング・データ含む)

軽元素 (ホウ素、リチウム) の同位体比分析により, 日本海溝断層帯掘削における流体岩石相互作用の低温の温度効果を推定した

ドリルパイプ疲労強度評価・泥水駆動コアリング検討・CFRP ライザー強度試験を実施した

トモグラフィーにより, 2015 年小笠原超深発地震の機構を解明した (太平洋スラブが上下マントル境界で滞留から沈み込みに遷移する場所での変形)

岩石・流体分析により, スラブからの脱水・大構造線が日本列島の深部流体の湧出に重要な貢献を果たしていることが判明した

マントル対流三次元モデルから, 2.5 億年以内に北半球にユーラシア、アフリカ、オーストラリア、北アメリカ大陸統合超大陸の形成を予測した

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Hirono, T., K. Tsuda, W. Tanikawa, J.-P. Ampuero, B. Shibasaki, M. Kinoshita, and J. J. Mori (2016), Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from fault properties and conditions, *Sci. Rep.* 6, 28184; doi: 10.1038/srep28184.
- Sanada, Y., Kinoshita, M., Lin, W., Saito, S. and Aoike, K (2016), Explorations of seismogenic zone by scientific ocean drilling offshore Tohoku and Nankai EIT-JSCE Joint International Symposium on 2016.
- Yamamoto, Yuzuru, Yohei Hamada, Nana Kamiya, Takanori Ojima, Shun Chiyonobu, Saneatsu Saito (2016), Geothermal structure of the Miura–Boso plate subduction zone, central Japan, *Tectonophysics*, 10.1016/j.tecto.2016.11.004
- Obayashi, J. Yoshimitsu, H. Sugioka, A. Ito, T. Isse, H. Shiobara, D. Reymond, and D. Suetsugu, Mantle plumes beneath the South Pacific superswell revealed by finite frequency P tomography using regional seafloor and island data M, *Geophysical Research Letters* , 43, doi:10.1002/2016GL070793
- Yoshida, Masaki (2016), Formation of a future supercontinent through plate motion-driven flow coupled with mantle downwelling flow, *Geology*, 44, 9, 755 ~ 758, doi:10.1130/G38025.1
- Inagakim F.Hinrichs Kai-Uwe, KUBO YUSUKE, Expedition 337 Scientists (2016), IODP Expedition 337: Deep Coalbed Biosphere off Shimokita -Microbial processes and hydrocarbon system associated with the deeply buried coalbed in the ocean. *Scientific Drilling*, 21, 17 ~ 28.
- Ono, Shigeaki, Takumi Kikegawa, Yuji Higo, Yoshinori Tange (2016), Precise determination of the phase boundary between coesite and stishovite in SiO₂, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 264, 1-6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2017.01.003>.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度は以下の調査研究を実施する :

紀伊半島沖南海トラフ地震発生帯掘削 : デコルマ先端部 (C0006) への孔内観測点設置航海の実施 (H29)

および断層固着域 (C0002) への大深度掘削予定 (H30)

室戸沖南海トラフ付加体先端部断層への掘削 : ROV による温度計データを回収する

スケールの異なるデータの統合解析技術、掘削工学と物質科学の融合による地下把握手法を創出し、資源探査や地震防災等の分野に活用を目指す

大水深・大深度・硬岩コアを可能にする掘削技術の開発を継続する

南海掘削コア等分析による、地震歪蓄積域のエネルギーバランス・南海付加体強度を推定する

マントル掘削に向け、ハワイ沖掘削候補地の事前調査を実施する

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

海洋掘削科学研究開発センター

地震津波海域観測研究開発センター

地球深部ダイナミクス研究分野

地球内部物質循環研究分野

数理科学・先端技術研究分野

高知コア研究所

地球深部探査センター

他機関との共同研究の有無 : 有

(以下、本課題の中心を担う海洋掘削科学研究開発センターの共同研究の相手方機関、代表者等について記載)

- ・金沢大学 理工研究域自然システム学系 森下 知晃 教授ほか
- ・神戸大学 大学院理学研究科 巽 好幸 教授
- ・東京大学地震研究所 波多野 恭弘 准教授

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：研究推進部研究推進第 1 課

電話：045-778-5691

e-mail：rsd1-kikan@jamstec.go.jp

URL：http://www.jamstec.go.jp/ods/j/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山田 泰広

所属：海洋掘削科学研究開発センター

(1) 実施機関名：

海洋研究開発機構

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海域地震発生帯研究開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

(第三期中期目標より抜粋)

海溝型巨大地震や津波は、人類に甚大な被害をもたらす脅威であることから、海溝型地震発生帯における動的挙動を総合的に調査・分析し、海溝型地震の発生メカニズムや社会・環境に与える影響を理解することにより防災・減災対策を強化することは、我が国にとって喫緊の課題である。このため、機

構は、海域におけるリアルタイム地震・津波観測網を整備するとともに、研究船や海底地震計等を用いた高度な観測技術等を最大限に活用し、南海トラフや日本海溝等を中心とした地震発生帯の精緻な調査観測研究を実施する。また、「地球シミュレータ」等を用いた計算技術等により、海溝型地震の物理モデルを構築し、プレートの沈み込み帯活動の実態を定量化するとともに、より高精度な地震発生モデルやプレート境界モデルを確立する。これらの成果をもとに、地震・津波に起因する災害ポテンシャル等の評価や、我が国の防災・減災対策の強化に資する情報を提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題は当機構の運営費交付金および補助金により実施している。

(第三期中期計画より関連部分を抜粋)

近年、我が国及び世界各国では、阪神淡路大震災(1995年)、スマトラ沖大津波地震(2004年)、東日本大震災(2011年)のような地震・津波による災害が多発している。機構は地震調査研究推進本部が策定した「新たな地震調査研究の推進について - 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策 - 」(平成24年9月6日改訂)及び文部科学省 科学技術・学術審議会の建議「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について(平成25年11月8日)」において示されている役割を果たすため、独立行政法人防災科学技術研究所等の関係する研究機関と協力し、再来が危惧されている南海トラフ巨大地震の震源域を始めとする日本列島・西太平洋海域を中心に、地震・火山活動の原因についての科学的知見を蓄積するとともに、精緻な調査観測研究、先進的なシミュレーション研究、モニタリング研究及び解析研究等を統合した海域地震発生帯研究開発を推進する。

これにより、海溝周辺における地震性滑りの時空間分布等の新たなデータに基づき、従来の地震・津波発生モデルを再考し、海溝型巨大地震や津波発生メカニズムの理解を進める。また、主に海域地殻活動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(1) プレート境界域の地震発生帯実態解明研究

地震発生帯の地震・津波像の解明に資するため、地殻構造、地殻活動及び地震発生履歴等について精緻な調査観測研究を実施する。また、地震・津波観測監視システム(Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis :DONET)等の海域地震・津波観測システムから得られるデータや関係する研究機関とのデータ相互交換の枠組みを活用し、地震発生、地震動及び津波の予測精度の向上に資する解析研究を行う。さらに、地震発生帯における諸現象のシミュレーション研究等を実施し、海洋科学掘削で得られた研究成果との統合を図ることにより、巨大地震発生帯の実態解明に資する新たな科学的知見を蓄積する。

(2) 地震・津波の総合災害ポテンシャル評価研究

東日本大震災の教訓を踏まえ、現実的な地震・津波像に基づく地震・津波シミュレーション研究を行い、南海トラフ、南西諸島域及び日本海溝等の日本列島周辺海域における地震・津波被害像の評価を進めるとともに、防災・減災対策へ実装するため、平成28年度を目途に各種予測計算等の準備を実施し、日本海や南海トラフ周辺海域等の地震・津波による被害の軽減に向けた情報基盤プラットフォームを構築する。これらを活用し、海域地殻変動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(1) プレート境界域の地震発生帯実態解明研究

地震発生帯の地震・津波像の解明に資するため、地殻構造、地殻活動及び地震発生履歴等について精緻な調査観測研究を実施する。また、地震・津波観測監視システム(Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis :DONET)等の海域地震・津波観測システムから得られるデータや関係する研究機関とのデータ相互交換の枠組みを活用し、地震発生、地震動及び津波の予測精度の向上に資する解析研究を行う。さらに、地震発生帯における諸現象のシミュレーション研究等を実施し、海洋科学掘削で得られた研究成果との統合を図ることにより、巨大地震発生帯の実態解明に資する新たな科学的知見を蓄積する。

(2) 地震・津波の総合災害ポテンシャル評価研究

東日本大震災の教訓を踏まえ、現実的な地震・津波像に基づく地震・津波シミュレーション研究を行い、南海トラフ、南西諸島域及び日本海溝等の日本列島周辺海域における地震・津波被害像の評価を進めるとともに、防災・減災対策へ実装するため、平成 28 年度を目途に各種予測計算等の準備を実施し、日本海や南海トラフ周辺海域等の地震・津波による被害の軽減に向けた情報基盤プラットフォームを構築する。これらを活用し、海域地殻変動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

- ・海底ケーブルネットワーク等で使用される水圧計の高精度化を目的した温度補正をおこなうために移動式水圧校正装置を開発した。陸上において性能評価試験を実施し、装置内の温度を 0.1 度、水準を 1mm で制御することにより 0.1hPa 程度の補正精度が得られることを確認した。
- ・海底掘削孔 C0010 の孔内計測装置を DONET への接続をおこないリアルタイム計測を開始した。2016 年 4 月 1 日に三重県南東沖での地震 (Mw6.0) に伴い発生したゆっくり滑りに対応した孔内間隙水圧の変動を観測した。またゆっくり滑りは周辺で発生した超低周波地震の活動を伴うことを示した。DONET のデータの解析によるとこの地震の余震群や超低周波地震は本震の発生域とは空間的に離れた場所で発生しており、深部側と浅部側双方にひずみが伝播したことが示唆される。
- ・宮城県沖のプレート境界の変動シミュレーションを、多数のシナリオで実施して、M9 クラスの巨大地震の発生前後の仮想宮城県沖地震の発生頻度について検討をおこなった。多くのシナリオでは宮城県沖地震の平均再来間隔が M9 クラスの地震の発生により短くなることが示された。
- ・陸上の GPS 観測網に加えて海底の GPS/音響測位結合方式による地殻変動データ、水圧計による地殻変動上下成分をデータとしてプレート境界上での東北沖地震後の余効変動の分布を高分解能で推定した。得られた分布は東北沖地震の発生時のすべり領域とはほぼ重ならないことが示された。
- ・琉球海溝南部では津波地震、低周波地震のようなゆっくりした地震の発生域が深部にまで隣接しており、側線構造探査においても発達した低速度 wedge の存在が確認され、プレート間の固着の弱い領域が支配的に存在することが明らかになった。更に自然地震の精緻な解析によりプレート間地震を抽出したところ、普通の地震とスロースリップや低周波地震との空間的な棲み分けがされていることが判明した。
- ・房総沖プレート三重会合点域で実施した OBS の観測網によるトモグラフィー解析から、高速度異常の太平洋プレートやフィリピン海プレートの上に 20%にも及ぶ大規模な低速度構造帯の存在を明らかにした。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

- Nakata R., T.Hori, M.Hyodo and K. Ariyoshi, Possible scenarios for occurrence of M 7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation, Scientific Reports,2016,doi::10.1038/srep25704
- Iinuma T., R.Hino, N.Uchida, W.Nakamura, M.Kido, Y.Osada, S.Miura, Seafloor observations indicate spatial separation of coseismic and postseismic slips in the 2011 Tohoku Earthquake, 2016, Nature Communications,doi::10.1038/NCOMMS13506
- Arai R., T.Takahashi, S.Kodaira, Y.Kaiho, A.Nakanishi, G.Fujie, Y.Nakamura, Y.Yamamoto, Y.Ishihara, S.Miura & Yoshiyuki Kaneda, Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench, 2016, Nature Communications,doi::10.1038/ncomms12255
- Arai R., S.Kodaira, Y.Kaiho, T.Takahashi, S.Miura, Y.Kaneda, Crustal structure of the southern Okinawa Trough: Symmetrical rifting, submarine volcano and potential mantle accretion in the continental back-arc basin, 2016, Journal of Geophysical Research: Solid Earth/Wiley,122,doi::10.1002/2016JB013448
- Ito A., H.Sugioka, K.Obana, R.Hino, D.Suetsugu, K.Nakahigashi, M.Shinohara, M.Nakano and Y.Yamamoto,

Upper boundaries of the Pacific and Philippine Sea plates new triple junction off the Boso Peninsula deduced from ocean-bottom seismic observation, 2017, Earth, Planets and Space, in press.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

本研究課題は当機構の運営費交付金および補助金により実施している。

(第三期中期計画より関連部分を抜粋)

近年、我が国及び世界各国では、阪神淡路大震災 (1995 年)、スマトラ沖大津波地震 (2004 年)、東日本大震災 (2011 年) のような地震・津波による災害が多発している。機構は地震調査研究推進本部が策定した「新たな地震調査研究の推進について - 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策 - 」(平成 24 年 9 月 6 日改訂) 及び文部科学省 科学技術・学術審議会の建議「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について (平成 25 年 11 月 8 日)」において示されている役割を果たすため、独立行政法人防災科学技術研究所等の関係する研究機関と協力し、再来が危惧されている南海トラフ巨大地震の震源域を始めとする日本列島・西太平洋海域を中心に、地震・火山活動の原因についての科学的知見を蓄積するとともに、精緻な調査観測研究、先進的なシミュレーション研究、モニタリング研究及び解析研究等を統合した海域地震発生帯研究開発を推進する。

これにより、海溝周辺における地震性滑りの時空間分布等の新たなデータに基づき、従来の地震・津波発生モデルを再考し、海溝型巨大地震や津波発生メカニズムの理解を進める。また、主に海域地殻活動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(1) プレート境界域の地震発生帯実態解明研究

地震発生帯の地震・津波像の解明に資するため、地殻構造、地殻活動及び地震発生履歴等について精緻な調査観測研究を実施する。また、地震・津波観測監視システム (Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis :DONET) 等の海域地震・津波観測システムから得られるデータや関係する研究機関とのデータ相互交換の枠組みを活用し、地震発生、地震動及び津波の予測精度の向上に資する解析研究を行う。さらに、地震発生帯における諸現象のシミュレーション研究等を実施し、海洋科学掘削で得られた研究成果との統合を図ることにより、巨大地震発生帯の実態解明に資する新たな科学的知見を蓄積する。

(2) 地震・津波の総合災害ポテンシャル評価研究

東日本大震災の教訓を踏まえ、現実的な地震・津波像に基づく地震・津波シミュレーション研究を行い、南海トラフ、南西諸島域及び日本海溝等の日本列島周辺海域における地震・津波被害像の評価を進めるとともに、防災・減災対策へ実装するため、平成 28 年度を目途に各種予測計算等の準備を実施し、日本海や南海トラフ周辺海域等の地震・津波による被害の軽減に向けた情報基盤プラットフォームを構築する。これらを活用し、海域地殻変動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地震津波海域観測研究開発センター

地球深部ダイナミクス研究分野

数理科学・先端技術研究分野

高知コア研究所

海洋掘削科学研究開発センター

地球情報基盤センター

地球深部探査センター

他機関との共同研究の有無：有

(以下、本課題の中心を担う地震津波海域観測研究開発センターの共同研究の相手方機関、代表者等について記載)

- ・株式会社地球科学総合研究所 新技術推進室 浅川 栄一室長ほか
- ・独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門海洋地質研究グループ 荒井 晃作グループ長ほか
- ・気象庁地震火山部地震津波監視課松代地震観測所 山崎伸之 技術専門官ほか
- ・和歌山県危機管理局総合防災課 松尾 孝志課長ほか

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震津波海域観測研究開発センター企画調整グループ

電話：045-778-5963

e-mail：kg-kikan@jamstec.go.jp

URL：http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小平 秀一

所属：地震津波海域観測研究開発センター

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

津波浸水履歴情報の整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

津波堆積物をはじめとした過去の津波に関する痕跡データについて、産総研によって論文公表した調査データを整理し、ウェブのマップ上で各種情報を示せるように整備する。特に 869 年貞観地震に関するデータについて、まず仙台平野について整備し、ウェブ公開する。その後は石巻平野、福島県北部について順次整備の上、公開する。南海トラフ沿いなど、そのほかの地域のデータは内容を検証しながら整備する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度は仙台平野の津波浸水履歴に関する情報を整備し、ウェブ公開する。平成 27 年度は石巻平野、福島県北部について整備の上、順次公開する。平成 28 年度以降は、津波浸水履歴情報の内容を検証しつつ、青森県沿岸や九十九里浜沿岸、南海トラフ沿岸などの地域を候補として情報の整備を行っていく。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

静岡県の一部(浮島ヶ原,掛川,元白須賀など),三重県の一部(志摩市,南伊勢町など),若玉県の一部(新宮市,御浜町,日高町など)について,柱状図のデータを整理し,ウェブ公開した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

静岡県および高知県のそれぞれ一部地域について、柱状図のデータを整理し、ウェブ公開を目指す。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

電話：029-861-3691

e-mail :

URL : <https://unit.aist.go.jp/ievg/group/subducteq/index.html>

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名：宍倉正展

所属：活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

活断層データベースの整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

すでに公開中の活断層データベースについて、新規データの入力、既存データの追加、検索・表示機能の強化を行う。また他機関のデータベースも含め、データの共有やリンク表示機能等の連携を強化し、より機能的で使いやすいデータベースに発展させる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度については、最近数年間に実施された活断層調査の成果について、データを体系化し、データベースに収集する。また産総研で刊行している活断層ストリップマップ等を重ねて表示できる機能を追加する。

平成 27 年度以降については、新たに実施された活断層調査の結果を逐次収集・入力するとともに、他機関との連携を図り、データの共有やリンク表示機能を強化する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度は、公表されている論文・報告書の中から活断層の活動性評価に関する重要な情報を含む資料を選定し、陸域 8 断層帯及び海域 2 断層帯についてのデータ化と入力作業を実施した。

2016 年 4 月に熊本地震が発生した際には、この地震の震源である布田川・日奈久起震断層，布田川活動セグメントおよび日奈久活動セグメントへのリンクをトップページに配置する措置を取った。地震発生直後のアクセス数は 10 万件を超えた。

データベースのセキュリティ向上のための開発言語改修作業と、操作性・表示機能強化のための改善作業を実施した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
とくになし .

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

これまでに引き続き、新たに実施された活断層調査の結果を逐次収集・入力する。地震調査研究推進本部が公表している「活断層の地域評価」に含まれている主要断層帯以外の活断層のなかで現在の活断層データベースに含まれていないものについて、追加作業の検討を行う。活断層の調査地点情報について、調査地点の写真画像を閲覧できるようにする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ

電話 :

e-mail : af-db-ml@aist.go.jp

URL: <https://unit.aist.go.jp/ievg/group/faulteval/index.html> https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 吾妻崇

所属 : 活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地質調査に基づく火山活動履歴調査とデータベース整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山活動の評価と予測の基礎となるデータとして、九重、蔵王、伊豆諸島、富士山、恵山などの活動的火山の噴火履歴調査を実施し、形成史や噴火履歴を明示した地質図の整備を推進する。また、火山に関する基礎データの収集と整理を行い、日本の火山データベースとして維持更新する。大規模噴火を発生させた火山対象に大規模噴火に至る準備過程の特徴を抽出し、大規模噴火の再来の可能性を検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

将来噴火の可能性の高い活動的火山の形成史・噴火履歴を明示した地質図整備を、火山防災のために監視・観測体制の充実が必要な活火山（47 火山）で重点的に行う。このうち九重、蔵王、伊豆諸島、富士山、恵山などでは、噴火履歴調査に基づいて形成史を解明し、あわせて定量的な噴出物量、化学分析、年代測定等の基礎データを取得し、地質図として整備する。

日本列島の火山の基礎情報を最新の知見に基づいて収集・整理し、これらを日本の火山データベースとして引き続き整備し公開する。新たに20万分の1スケールでの全国火山図を作成し、この火山区分に基づいた噴火年代、噴出量、岩石学的分析等を基礎データとしてデータベースに取り込む。これらの整備により、国土の基礎情報として関係諸機関の利用に供すると共に、火山活動の噴火推移予測に貢献する。

十和田やインドネシアを含め、後期更新世から完新世に大規模噴火を発生させた火山において、過去の大規模噴火とそれ以前の噴出物を対象に、ボーリング・トレンチを含めた地質学岩石学的調査を行い、大規模噴火に至る噴火推移の復元とマグマ供給系の変遷を明らかにする。

(8) 平成28年度の成果の概要：

監視・観測体制の充実が必要な活火山の地質図整備では、富士山地域の地質図を出版し、八丈島火山で地質図をとりまとめた。恵山及び御嶽火山で噴火履歴調査を引き続き実施し、日光白根火山では調査を開始した。

日本の火山データベースでは、富士山の詳細データを公開し、蔵王及び九重火山に関するデータを追加した。20万分の1スケールでの全国火山図原稿作成を南東北及び北関東地域において実施した。

阿蘇火山・始良火山のカルデラ形成期噴火に至る噴火履歴の詳細化のため、噴出物の分布・層序調査および岩石学的分析を行い、阿蘇カルデラにおいては複数の大規模噴火の間の噴火様式やマグマ組成の変化を解析した。また始良カルデラでは大規模火砕流噴出に至る火道拡大過程の復元を行った。インドネシアの複数の火山の現地調査により、大規模火砕流噴出直前の数千年間における噴出率や噴火様式の変化を見出した。GISを用いた始良および十和田カルデラの大規模火砕流堆積物の噴出量の再検討を行なった。

御嶽山・口永良部島火山・阿蘇中岳火山などの噴出物の解析を行い、噴火推移や噴火メカニズム検討を行った。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

高田 亮・山元孝広・石塚吉浩・中野 俊, 2016, 富士火山地質図(第2版)及び同説明書. 特殊地質図12, 産総研地質調査総合センター, 56p. Geshi, N. and Miyabuchi, Y., 2016, Conduit enlargement during the precursory Plinian eruption of Aira Caldera, Japan. *Bulletin of Volcanology*, 78, 63. Geshi, N., Shinohara, H. and Iguchi, M., 2016, Phreatomagmatic eruptions of 2014 and 2015 in Kuchinoerabujima Volcano triggered by a shallow intrusion of magma. *Journal of Natural Disaster Science*, 37, 67-78. 下司信夫, 2016, 口永良部島2014年・2015年噴火の特徴：地質調査によって明らかにされた過去の噴火特性との比較. *地質と調査*, 145, 18-25. 及川輝樹, 2016, 2014年御嶽山噴火. *地質と調査*, 145, 12-17. Oikawa, T. et al., 2016, Reconstruction of the 2014 eruption sequence of Ontake Volcano from recorded images and interviews. *Earth, Planets and Space*, 68: 79. doi:10.1186/s40623-016-0458-5. 山崎誠子・星住英夫・松本哲一, 2016, 九重火山群中西部の発達史 - 感度法 K-Ar 年代に基づく再検討-. *火山*, 61, 519-531. 山元孝広・高田 亮・吉本充宏・千葉達朗・荒井健一・細根清治, 2016, 富士山山麓を巡る: 火山地質から防災を考える. *地質学雑誌*, 122, 433-444. 日本の火山データベース <https://gbank.gsj.jp/volcano/>

(10) 平成29年度実施計画の概要：

活火山の形成史・噴火履歴を明示した地質図整備では、八丈島火山の地質図を出版する。恵山、御嶽、日光白根火山でトレンチ掘削を含めて引き続き調査研究を実施する。日本の火山データベースでは、中部及び甲信越地域において20万分の1スケールでの全国火山図作成を進める。

十和田、阿蘇、始良などの大規模噴火を対象に過去の噴火推移を地質学的手法により明らかにするとともに、記載岩石学的手法・実験岩石学的手法による噴出物の解析とマグマ溜り条件の復元を行う。火砕流堆積物及び降下火山灰の分布の再検討から、始良カルデラなどの大規模火砕流噴火の総噴出量の

再検討を実施する。噴出物組織や化学組成、微小領域化学分析手法によるマグマ溜り条件やマグマ上昇・噴出条件の解析を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学、山形大学、電力中央研究所など

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

電話 :

e-mail :

URL : <https://unit.aist.go.jp/ievg/actvolcano-rg1/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 石塚吉浩

所属 : 活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

・ 千島-日本海溝

2011 年東北地方太平洋沖地震の破壊領域よりも北のプレート境界で発生する巨大地震および津波に関して、過去の履歴と規模を津波堆積物調査等に基づいて復元し、断層モデルの構築を試みる。

・ 相模トラフ

おもに房総半島沿岸の地形、地質調査のデータから、過去の関東地震の履歴と隆起パターンなどを復元し、関東地震の多様性を評価する。特に房総半島南東～東沖の領域の破壊の可能性について検証する。

・ 南海トラフ

沿岸域において地形、地質の調査を行い、史料の情報などと併せ、過去に海域で発生した地震の時期とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を解明する。特に最大クラスの地震について、地形、地質に記録された実証データから検証し、規模の上限について評価を試みる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

・ 千島-日本海溝

平成 26 年度は青森県および岩手県南部の太平洋沿岸で津波堆積物調査を実施する。平成 27 年度は同地域の補完調査に加え、北海道南部太平洋沿岸に調査範囲を拡大する。平成 28 年度以降は北海道太平洋岸などの津波堆積物調査を行い、それらのデータに基づいて断層モデルについて検討を行う。

・ 相模トラフ

平成 26～27 年度は、おもに産総研がこれまでに房総半島で取得した詳細地形 (DEM) データについて、地形判読や高度分布の解析を行い、海岸段丘の分布を再評価する。また房総半島沿岸各地で実施した掘削調査による既存のコア試料の分析を行い、海岸段丘の年代を解明する。平成 28 年度以降も上記解析を継続すると共に、九十九里浜平野などで津波堆積物調査を実施する。

・ 南海トラフ

おもに文部科学省 (委託先：海洋研究開発機構) の南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトに参画して津波履歴調査を担い、平成 26 年度はおもに高知県沿岸、平成 27～29 年度は四国・九州から南西

諸島にかけて、平成 30 年度以降は東海～紀伊半島沿岸で、それぞれ津波堆積物調査および隆起痕跡調査を実施する。また期間を通じて地震サイクルシミュレーションなどから規模予測の手法を検討する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

・千島・日本海溝

2011 年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の各種分析を通して、津波堆積物の識別手法や浸水域の復元手法などに向けた調査研究を各地で行った。青森県三沢市およびおいらせ町では、珪藻分析、福島県南相馬市小高区では $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ 比の分析を行った。さらに $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ 法を北海道東部霧多布湿原の 17 世紀の津波堆積物に応用した。このほか同地域で 13 世紀の津波堆積物に関する分布域の検討も行った。

・相模トラフ

房総半島南部千倉低地の海岸段丘について、ボーリングコア試料の解析から離水年代の再検討を行った結果、従来知られていた年代よりも全体的に新しくなり、さらに再来間隔が非常にばらつくことが明らかになった。

・南海トラフ

駿河湾奥部において、富士川河口断層帯を挟んだ隆起側で歴史資料の解析を行うとともに、新たにボーリング掘削を行った。一方、沈降側では既存のボーリングコア試料の解析を進め、珪藻化石の分析により過去 3000 年間に少なくとも 5 回の沈水イベントを検出した。また浜名湖岸に位置する村櫛低地において、ハンドコアラーとジオスライサーによる調査を行った。相良低地ではオールコアボーリングと定方位簡易ボーリングを行い、面的に試料の採取を行った。このほか三重県津市、高知県東洋町・四万十町・黒潮町の各地域で採取済みのボーリングコア試料について、年代測定や珪藻分析を進めた。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Tanigawa, K., Y. Sawai, and Y. Namegaya, 2017, Diatom assemblages within tsunami deposit from the 2011 Tohoku-oki earthquake along the Misawa coast, Aomori Prefecture, northern Japan, *Marine Geology*, doi.org/10.1016/j.margeo.2016.11.016

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

他機関との共同研究の有無 : 有

筑波大学、新潟大学、島根大学、法政大学、建築研究所、地域地盤環境研究所

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

電話 : 029-861-3691

e-mail :

URL : <https://unit.aist.go.jp/ievq/group/subducteq/index.html>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 宍倉正展

所属 : 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震時変位量に基づく連動型古地震像復元手法の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料, 考古データ, 地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者, 技術者, 防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

糸魚川-静岡構造線活断層系等の内陸活断層帯において地質学的・古地震学的な調査を実施し、過去の地震に伴う複数セグメントの連動履歴を解明する。連動履歴解明のため、セグメント境界周辺において複数回の地震時変位量を復元するための野外調査を 5 カ年で実施する。地震時変位量等を基準としてセグメント境界の連動/非連動を判別することによって連動性を評価し、最近数回の地震サイクルにおける古地震シナリオを構築する。さらに、その古地震シナリオを反映した地震規模予測および長期予測の高度化について検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。

平成 27 年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動/非連動を判別し、セグメント境界の連動性評価をおこなう。

平成 28 年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。

平成 29 年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動／非連動を判別し、セグメント境界の連動性評価をおこなう。

平成 30 年度：セグメント境界周辺において地震時変位量を復元するための調査を実施する。セグメント境界毎の連動性評価を総合し、断層帯の連動履歴をもとに古地震シナリオを作成する。古地震シナリオを反映した規模予測および長期予測の高度化について検討する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 27 年度までの成果の一部をとりまとめ、公表した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

近藤久雄・勝部亜矢，2016，2014 年長野県北部の地震が提起した内陸大地震の長期予測に関する諸問題，科学，86-4，313-317。

勝部亜矢・近藤久雄・谷口 薫・加瀬祐子，2017，2014 年長野県北部の地震 (Mw6.2) に伴う地表地震断層の分布と変位量，地質学雑誌，123-1，1-21。

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動／非連動を判別し、セグメント境界の連動性評価をおこなう。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ

電話：

e-mail：

URL：<https://unit.aist.go.jp/ievg/group/faulteval/index.html>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：近藤久雄

所属：活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山性流体と噴出物の解析に基づく噴火推移過程のモデル化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

マグマ噴火を繰り返す火山において、噴火発生や活動推移に伴う火山ガス放出量・組成の特徴と時間変化を把握することにより、火山ガス供給過程の変化の視点からの噴火発生や活動推移のモデル化を行う。地殻へのマグマの貫入や火山ガスの供給による火山体浅部の熱水系の応答について、熱水系シミュレーションにより定量化する手法を、伊豆大島など活動的な火山に適用する。

熱水系の卓越する火山において、熱水系の構造及び火山ガス供給系を明らかにし、水蒸気爆発発生に関与する熱水系の実体をモデル化する。

火山噴出物の岩石学的・地球化学的解析に基づき、マグマ溜まりにおける噴火準備過程および直前過程の定量化を行うとともに、火山灰の解析に基づく噴火特徴把握手法の確立を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

桜島、浅間山などマグマ噴火を主体とし活発な噴煙活動を継続している火山において、Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測および繰り返し観測を実施し、噴火発生や火山活動推移に伴う火山ガス組成の特徴と変化を把握し、火山ガス供給過程のモデル化を行う。特に桜島においては、航空機等を用いた観測も併用することにより、噴火により放出される火山ガス組成の特徴把握を目指す。また、噴煙活動を継続している火山において高時間分解能の SO₂ 放出量変動観測を実施し、噴火発生前後における火山ガス放出量変動を定量化し、噴火発生過程のモデル化を行う。伊豆大島において自然電位

の連続観測を実施し、火山活動静穏時における降雨などに対する地下水系の応答をモデル化し、火山活動に伴う変動を抽出する。さらに、想定されるマグマの貫入および火山ガスの供給に対する熱水系の応答を、シミュレーションを用いてモデル化し、発現する地表変動の多様性を評価する。

雌阿寒岳、口永良部島などにおいて、火山ガスの繰り返し観測および放熱分布の把握、自然電位分布測定などを実施し、熱水系の分布および火山ガスの起源を明らかにすると共に、熱水系シミュレーションによるモデル化を実施し、水蒸気爆発の発生に関与している熱水系の実体を明らかにする。

有珠、伊豆大島等マグマ噴火を繰り返す火山において、斑晶の累帯構造、マグマ溜まりの岩石学的特徴、揮発性成分濃度や圧力条件を把握し、噴火直前過程や噴火に至るまでのマグマ供給系の発展を明らかにするとともに、噴火を繰り返すメカニズムを解明する。桜島火山など活発に噴火している火山について、火山灰構成粒子の観察・分析等に基づき噴出物の特徴を把握するとともに、他の観測量や岩石学的解析と比較に基づきマグマ上昇・脱ガス過程をモデル化する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

口永良部島、桜島、阿蘇においてセスナ機を用いた Multi-GAS による火山ガス組成観測を実施し、火山活動推移に伴う火山ガス組成の変化を把握し、噴火推移の評価を行った。三宅島の 2000-2015 年の火山ガス組成変化の評価を行い、火山ガス放出量変化のモデル化を行った。桜島火山において噴火発生前の高時間分解能の SO_2 放出率変動観測の結果と地殻変動観測の結果を解析し、噴火前の膨張量と火山ガスの蓄積量に相関があることを明らかにした。高時間分解能の SO_2 放出量変動観測装置を開発した。

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、吾妻山、霧島硫黄山において火山ガスの繰り返し観測を実施し、噴気活動の変化を把握し、吾妻山の噴気活動のモデル化を行った。火山ガスや熱水流動に伴う変質帯の形成が火山活動に及ぼす影響を評価するために、多孔性弾性体の変動を解析するための数値シミュレーションコードを導入した。伊豆大島を対象として天水及び火山ガスの流動に伴う自然電位の応答特性を定量化した。

西之島火山の 1973-74 年、2014-15 年噴火等の噴出物の解析を行い、マグマの岩石学的特徴・揮発性成分濃度を明らかにした。桜島、阿蘇火山等顕著な噴火が発生した火山の噴出物の構成粒子の解析を実施し、構成粒子組成の変化等に基づき、噴火推移の評価について検討を行った。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kazahaya, R., Shinohara H., Mori T., Iguchi M., Yokoo A, (2016) Pre-eruptive inflation caused by gas accumulation: Insight from detailed gas flux variation at Sakurajima volcano, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11,219-11,225, doi:10.1002/2016GL070727.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

桜島、阿蘇、浅間山、口永良部島において、Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測および繰り返し観測を実施し、火山活動推移に伴う火山ガス組成の変化を把握し、火山ガス供給過程のモデル化を行う。高時間分解能の SO_2 放出量変動観測手法の改良を行い、浅間山等で試験観測を実施する。火山ガスや熱水流動に伴う変質帯の形成が火山活動に及ぼす影響を評価するために、多孔質弾性体の変動と熱水流動の連成解析を行うための数値シミュレーションコードを整備する。雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、吾妻山、霧島硫黄山において火山ガスの繰り返し観測を実施し、火山ガス放出量および火山ガス組成変化を把握し、噴気活動変化の評価を行うとともに、その要因となる熱水系のモデル化を進める。

伊豆大島、阿蘇火山等の噴出物の解析を行い、マグマの揮発性成分濃度を明らかにする。継続的な噴火の発生する火山において噴出物構成粒子組成や岩石学的特徴の変化等を明らかにし、噴火推移の評価について検討を行うとともに、過去の噴出物に対する同様の検討を行い、噴出物特性と噴火推移との関係を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 (武尾実、他数名)

京都大学防災研究所 (井口正人、他数名)

京都大学理学部 (鍵山恒臣、他数名)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ

電話 :

e-mail :

URL : <https://unit.aist.go.jp/ievg/group/magma/index.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 篠原宏志

所属 : 活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

紀伊半島～四国周辺に、4 点の新規地下水・地殻変動観測施設を整備する。南海トラフ巨大地震想定震源域の深部周辺で発生する短期的ゆっくり滑りの詳細なマッピングを行う。主に測地・測量データを解析して、想定東海地震震源域周辺における 1980 年代以降のプレート間固着の時空間分布を明らかにする。深部低周波微動発生領域における水理特性を推定する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地下水・地殻変動観測施設(4点)の新規整備。平成25年度までの整備済みの16観測点と併せ合計20観測点とする。短期的ゆっくり滑りを地下水位・水圧で検出可能な所があれば、臨時観測点を設置して観測網を補完する。この観測網での観測精度向上のため、観測技術の開発を行う。

産総研・防災科研・気象庁との共同研究により構築した観測システムにより、南海トラフの深部低周波微動・短期的ゆっくり滑りの高精度モニタリングを行う。短期的ゆっくり滑りの客観的な検出システムの高度化・地震計アレイによる深部低周波微動の高精度な検出を行う。その他、解析技術の開発を行う。

1946年南海地震前後の上下変動・地下水変化・潮位変動解明のための文献調査及び潮位測定等を行う。想定東海地震震源域周辺のプレート間固着の時間変化推定のため、東海地域の水準測量データ等を解析する。

深部滑り・微動のメカニズム理解のための研究を実施する。深部滑り・微動発生における流体の影響の解析を行い、同発生領域の水理特性の推定を行う。

地下水・地殻変動観測による地震の予知・予測研究の日本における成果を台湾での震災軽減に生かすため、国立成功大学との共同研究を引続き行う。

(8)平成28年度の成果の概要:

産総研・防災科研・気象庁との共同研究により、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべりを解析するシステムの運用を継続した。2015年11月~2016年10月の間に39の短期的ゆっくりすべりの断層モデルを決定した。

2016年5月に三重県の北勢観測点の観測井戸についてパッカーを用いて密閉し、地下水圧に対する地殻歪感度を著しく向上させた。水圧データから潮汐成分・気圧応答・降雨応答を除去することで、伊勢湾周辺での深部低周波微動活動に同期した水圧変化を捉えることができた。

GNSSデータから推定した固着・すべり分布の時間変化(Ochi, 2015, EPSL)と産総研の微動カタログを使用し、両者の関係を議論した。その結果、スロースリップと微動活動が同期する場所やスロースリップの時期以外でも、固着のゆらぎと微動活動のゆらぎに関係がみられた。

台湾・国立成功大学との共同研究の一環として、水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップを開催し、プロシーディングスを公開した。

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・武田直人, 2016, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2015年11月~2016年4月)(53), 地震予知連絡会会報, 96, 271-277.

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・武田直人, 2017, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2016年5月~2016年10月)(54), 地震予知連絡会会報, 97, 印刷中.

北川有一・板場智史・武田直人・松本則夫・落唯史・木口努, 2016, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2015年11月~2016年4月), 地震予知連絡会会報, 96, 345-358.

北川有一・板場智史・武田直人・松本則夫・落唯史・木口努, 2017, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2016年5月~2016年10月), 地震予知連絡会会報, 97, 印刷中.

Kitagawa., Y and Y. Kano, 2016, Changes in permeability of the Nojima fault damage zone inferred from repeated water injection experiments, Earth, Planets Space, 68:185

北川有一・松本則夫, 2016, 井戸密閉化による地下水位の地殻歪応答の改善-北勢観測点の場合-, 日本地震学会2016年秋季大会, S13-01.

松本則夫, 2016, 南海トラフ地震の中短期予測をめざして, 地震ジャーナル, 62, 8-12.

Matsumoto N. and C.-L. Shieh eds., 2016, Proceedings of the 15th Taiwan-Japan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction, <https://unit.aist.go.jp/ievg/tectonohydro/topics/workshop/2016/15thProceeding.pdf>

落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・武田直人・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦，2016, 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント（2015年11月～2016年4月），地震予知連絡会会報，96，255-270.

落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・武田直人・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦，2017, 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント（2016年5月～2016年10月），地震予知連絡会会報，97，印刷中.

Ochi, T. and N. Takeda, 2016, Coupling and tremor rate in the transition zone around the Shikoku region, southwestern Japan, 2016 AGU Fall Meeting, S33A-2822.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

南海トラフ巨大地震の予測精度向上のために，既存の地下水井戸の利用および高度化を行ない地下水等総合観測網による短期的ゆっくりすべりの検出能力向上を図る．既存の施設での高品質な地下水・地殻変動等の観測を継続する．産総研・防災科研・気象庁との共同研究に基づく同地震周辺域での微動・短期的ゆっくりすべりの解析を継続する．測地測量・GNSS データ等による現在および過去のプレート間カップリング評価を継続する．

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ

他機関との共同研究の有無：有

気象庁、防災科学技術研究所、名古屋大学、京都大学、鳥取大学、神奈川県温泉地学研究所、台湾国立成功大学等

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ

電話：029-861-3656

e-mail：tectono-h-ml@aist.go.jp

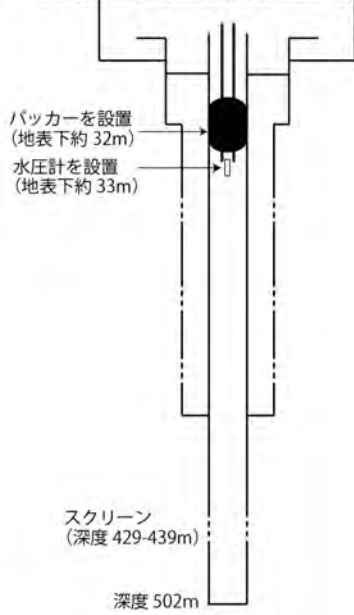
URL：https://unit.aist.go.jp/ievgroup/tectonohydr/index.html

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松本則夫

所属：活断層・火山研究部門

北勢観測点の観測井戸の概要



伊勢湾周辺での深部低周波微動の活動
2016年10月～12月

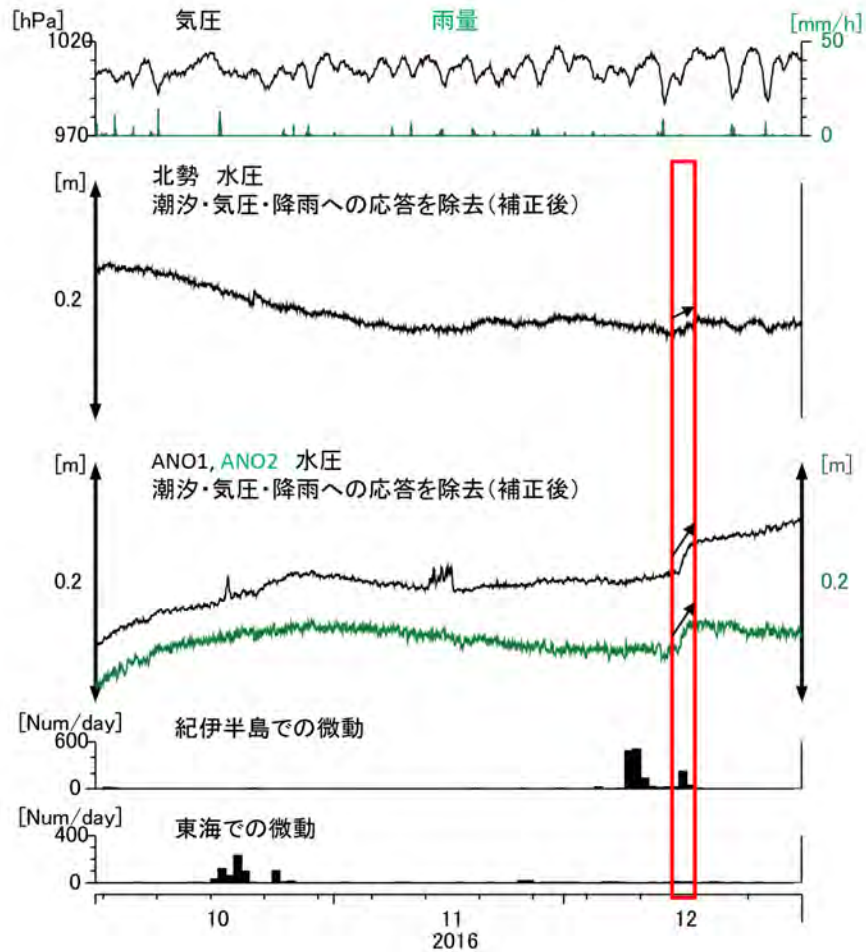
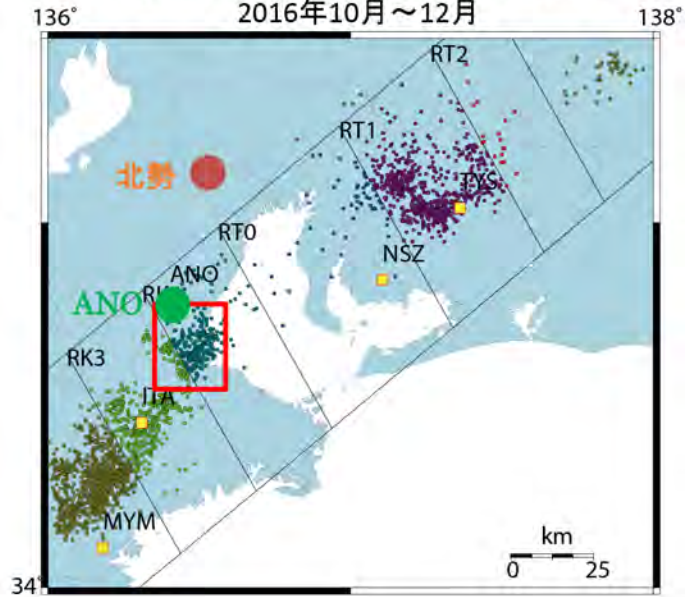


図 1

上左：北勢観測点の観測井戸のパッカーによる密閉化の概要。上右：北勢観測点、ANO1, ANO2 観測点の位置と2016年10月～12月の伊勢湾周辺での深部低周波微動の活動。下：北勢観測点の密閉化後、および ANO1, ANO2 の地下水圧(潮汐・気圧・降雨の応答を除去)。伊勢湾周辺での深部低周波微動活動(図中赤枠)に同期した水圧変化が見られる。

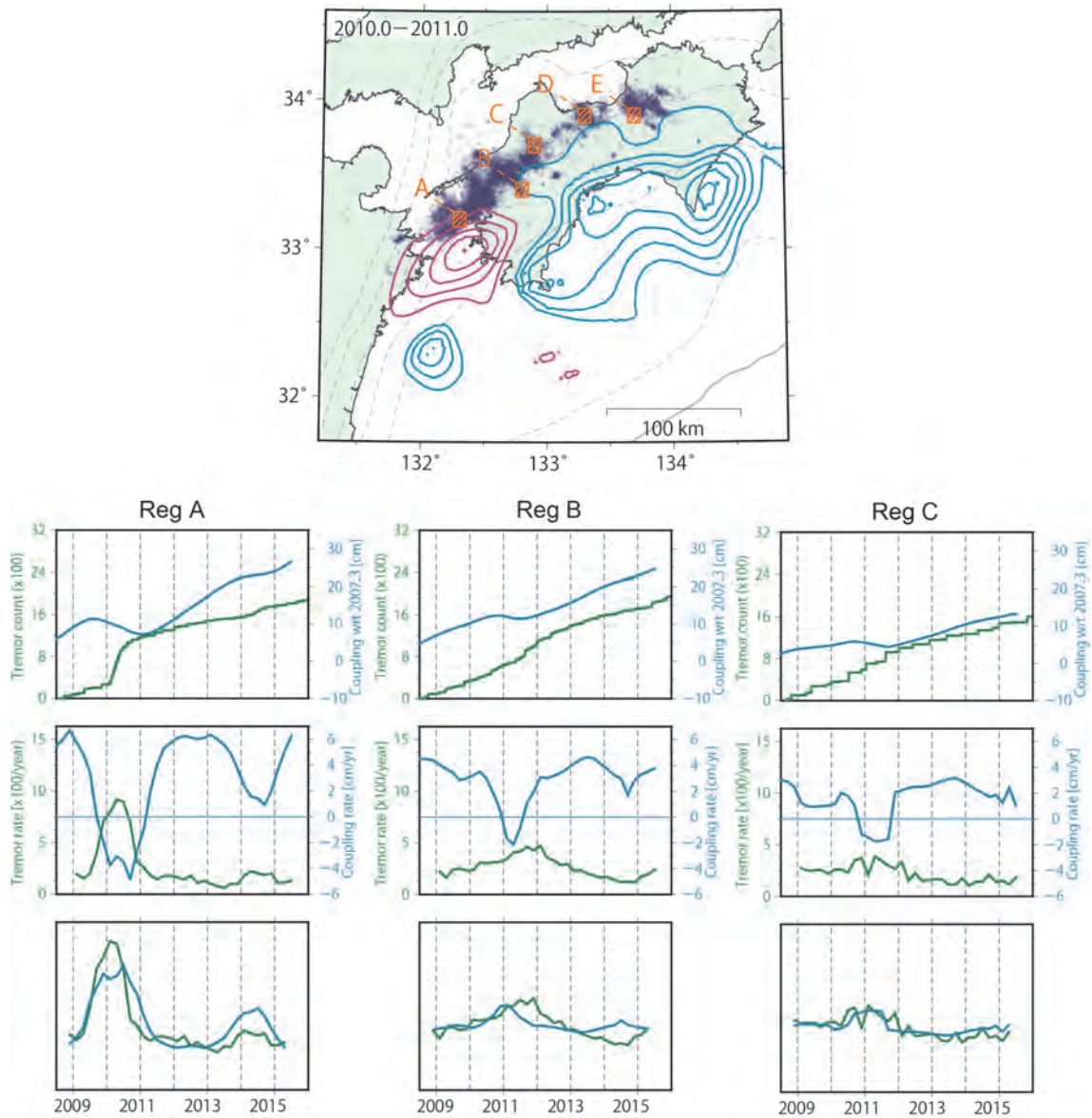


図 2

上：2010年1月から12月の平均のプレート間固着（青色）およびスロースリップ（赤色）。紺のドットは同じ期間の産総研カタログによる深部低周波微動の震央を示す。

下：上図に示す A-C の領域における固着・すべり（青色，正が固着・負がすべり）と微動の個数（緑色）の関係。上段が積算量，中段が年平均のレート，下段が中段の2つの線をスケーリングと上下反転によって合わせたもの。いずれの領域でも双方の増減に対応関係があるように見える。

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

可能な限り小さな地震まで解析に含めることで、高い空間分解能を有する地殻応力図を整備する。さらにこの応力図をもとに、地形・地質情報や地震学的情報も含めて地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を解釈し、将来発生する地震の最大規模や発生様式を評価するための地図(地震テクトニックマップ)を作成する。関東地域の 25km 以浅をケーススタディとして試作を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度と平成 27 年度では、Hi-net の整備以後蓄積されている定常観測網のデータ解析を進め、関東地域の 25km 以浅における応力場を明らかにする。地震データが不足している地域では臨時観測を実施し、地震データの蓄積と解析を行う。可能な限り小さな地震まで解析に使えるようにするため、ノイズに強い地震検出法、隣接地震の複合処理による発震機構解推定法などの手法開発に取り組む。また、活断層の 3 次元地下構造を推定するため、関東平野における既存の地下構造探査データに対して最新の処理法を用いた再解析を実施する。地震テクトニックマップの有効性と限界を確認するため、過去に発生した地震の震源域の応力状態と本震の規模や発生様式との関係を調査する。

平成 28 年度は引き続き前年度までの解析を行い、地殻応力図を取りまとめる。地震活動が不活発な領域は地殻変動データ、地形地質情報、数値シミュレーション結果などを吟味して補間を行い、応力情報の空白域を無くすことを目指す。応力場のメッシュサイズはデータ量に依存するが、マグニチュード 6 後半の中規模地震であっても最大規模や発生様式の評価に繋がられるよう、最低限 10km を目指す。深さ方向にもデータの状況に応じてメッシュを配置する。結果は地殻応力場データベース (<https://gbank.gsj.jp/crstress/>) において公開する。

平成 29 年度は前年度までの解析で推定した地殻応力図や 3 次元地下構造の結果に加え、活断層分布や重力異常図などの地形・地質情報、b 値や地震波速度構造などの地震学的情報等も考慮して地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を解釈し、将来発生する地震の最大規模や発生様式を評価するための地図(地震テクトニックマップ)を完成させる。

平成 30 年度では、地震テクトニックマップを基に、数値シミュレーションを併用した最大規模評価や活動性評価手法を提案する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

文部科学省 活断層の地域評価(関東地域)の評価範囲に合わせるため、解析領域を少し広げ、322 個の発震機構解を追加した。これにより関東地域の地殻応力図が一通り完成したことになる。地殻応力場データベース (<https://gbank.gsj.jp/crstress/>) への反映は、結果を最終確認した上で、次年度早い時期に達成できる見込みである。

前年度までの結果から、応力場が空間的に急激に変化する場所がいくつか確認されている。我々はその中の一つである山梨県北東部において約 2 年間にわたる臨時観測を行ってきた(内出ほか, 2015)。今年度はそのデータを解析し、以下の結果を得た(今西ほか, 2016)(図 1)。

- ・南北約 40km, 東西約 30km の調査地域において、振幅値を用いた発震機構解推定法を用いることで、Mj0.0 を下限とする合計 259 個の解を推定することができた。

- ・応力テンソルインバージョン解析により、応力場を定量的に推定した。調査地域全域にわたり最大主応力軸は水平面内に作用しており、水平圧縮力が卓越する場であることが確認できる。一方、その方位は領域毎に異なっており、最大で約 90 度の違いが見られる。応力場のタイプも逆断層場と横ずれ場が含まれており、狭い範囲内で不均一な応力場の実態が明らかになった。

- ・応力テンソルインバージョン結果をもとに、5 つの応力区に区分した。応力区境界の一部には活断層と構造線が分布する。

- ・最大主応力軸は南部から北部に行くにつれて約 90 度変化するが、急激に変化するのではなく、等方的な水平圧縮力を持つ領域を挟んで徐々に変化していくと見て取ることができる。

活断層の 3 次元地下構造に関しては、関東平野西部で取得された既存の深部反射法地震探査データから 3 次元的基盤構造把握のために作成したパネルダイヤグラムと重力データの比較検討を実施し、測線間の基盤構造を補完した。

震源域の応力状態とそこで発生する地震の発生様式を調査するため、茨城県北部・福島県浜通り地域における地震を重点的に調査した。詳細な解析によって M3 級の地震の震源スペクトルが標準的な 2 モデルから明確に外れる地震が多数発生していることを明らかにした(Uchide and Imanishi, 2016)。

同様の傾向は国内の他地域における地震についても見つかった。2 モデルは小地震の応力降下量を見積もる際に仮定されるが、今後はより現実的なモデルを仮定することで、小地震の情報、ひいてはその背景にある応力状態や断層強度の情報を適切に引き出す上では重要な成果である。また、微小地震活動が活発である茨城県北部地域において、2016 年 6 月に 7 観測点からなる臨時地震観測網を設置し、1000 sps の高サンプリング観測を開始した。2016 年 12 月 28 日には観測地域内で M 6.3 の地震が発生しており、それに伴う地震活動を捉えることに成功している。

2016 年熊本地震については、発震後速やかに研究を開始し、迅速かつ適切な情報提供に努めた。産総研地質図 Navi (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>) においては、DD 法によって再決定した震源分布を、地質図等の情報と参照できる形で公開し、2016 年 6 月まで随時更新した。そして、震源分布、断層すべり

分布，大分県由布院-別府地域における動的誘発地震をまとめ，一連の現象を包括的に議論した (Uchide et al., 2016) .

- (9)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
今西和俊・内出崇彦・松下レイケン(2016) , 臨時地震観測による山梨県北東部の微小地震の発震機構
解と応力場 , 活断層・古地震研究報告. (印刷中)

Uchide, T., H. Horikawa, M. Nakai, R. Matsushita, N. Shigematsu, R. Ando, and K. Imanishi (2016), The
2016 Kumamoto-Oita earthquake sequence: Aftershock seismicity gap and dynamic triggering in vol-
canic areas, Earth Planets Space, 68, 180, doi:10.1186/s40623-016-0556-4.

Uchide, T., and K. Imanishi (2016), Small earthquakes deviate from the omega-square model as revealed by
multiple spectral ratio analysis, Bull. Seismol. Soc. Am., 106, 1357-1363, doi:10.1785/0120150322.

- (10)平成 29 年度実施計画の概要 :

地殻応力図や 3 次元地下構造の結果に加え , 活断層分布や重力異常図などの地形・地質情報 , 地震
波速度構造などの地震学的情報も考慮して地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を解釈する .

活断層の 3 次元地下構造推定に関しては , 引き続き既存の反射法地震探査データと重力データの比
較検討を実施し , 3 次元的に基盤構造をマッピングする .

また , 引き続き震源域の応力状態と本震の規模や発生様式の関係进行调查するための研究を実施する .
茨城県北部においては , 2016 年 12 月 28 日に発生した M 6.3 の地震について , その震源過程を明らか
にするとともに , その発生に至ったテクトニックな現象について調査する . また , 大韓民国慶州地震
(Mw 5.4) について , 韓国地質資源研究院 (KIGAM) と共同で調査研究を行い , 内陸地震の発生過程に
ついての理解を深める .

- (11)実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループ
他機関との共同研究の有無 : 無

- (12)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループ
電話 : 029-861-3691
e-mail :
URL : <https://unit.aist.go.jp/ievg/group/seismotec/index.html>

- (13)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 今西和俊
所属 : 活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループ

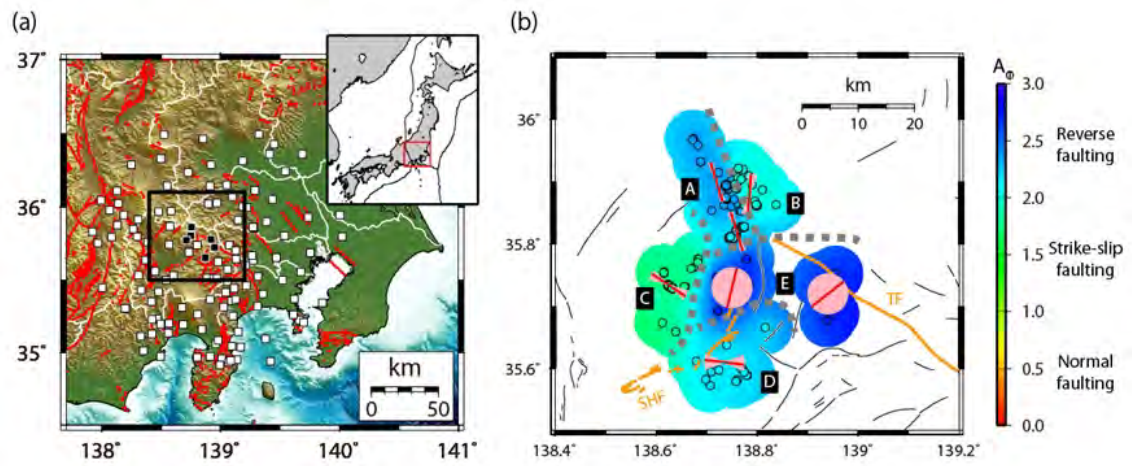


図1 応力場急変域における高分解能応力場推定

(a) 観測点分布。臨時観測点を黒の四角で、定常観測点を白の四角で示す。(b)(a)の黒枠内における詳細応力マップ。応力場の特徴により5つの応力区に分類。およその応力区境界を点線で示す。背景のカラーは断層タイプを示す。水平面内最大主応力方位を赤線で、95%信頼区間を桃色の扇の拡がりで示す。曽根丘陵断層(SHF)と鶴川断層(TF)をオレンジ色の線で示す。

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

アジア地域の地震及び火山関連情報を CCOP 関連国等と協力の上収集整備する。また、未整備な地域のデータを統一的基準で取りまとめ、「アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム」として公開する。

ユネスコ、世界地質図委員会 (CGMW) の最新版災害図として「東アジア地域地震火山災害図」を出版する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

CCOP 関連諸国の研究機関等と連携し、一定の基準・精度をもった地震・活断層・津波・火山関連データを東～東南アジア地域において作成し（あるいは作成をサポートし）、各国で共有できるようにする。具体的には、(1) 過去の地震の観測データをデジタル化した上で、震源パラメータを再決定し、統一した広域地震データを整備する、(2) 各国の活断層分布データを収集し、統一的な活断層分布データを整備する、(3) 東南アジア地域の火山について、世界的な統一基準で火山データベースの再検討を行う。以上の情報を元に、「アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム」の構築と公開を行う。

東アジア地域地震火山災害図 (1:7,500,000) を作成し、ユネスコ、世界地質図委員会 (CGMW) から、最新の地震火山の災害関連情報図として出版する。

GEM(Global Earthquake Model) や GVM(Global Volcano Model) と連携し、アジア地域の地震火山関連データの国際標準化を図る。

CCOP 関連諸国と定期的にワークショップ、会合、技術講習会等を開催し、アジア各国の研究機関との連携、人材教育を推進する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

G-EVER のアジア太平洋地域地震火山災害情報図プロジェクトでは、ユネスコ傘下の世界地質図委員会 (CGMW) の元で、東アジア地域地震火山災害情報図の作成を行っており、2016 年 5 月に出版に至った (図 1) . 東アジア地域地震火山災害情報図は、産総研地質調査総合センターの G-EVER 推進チームが中核となり、アジア各国の地質調査機関 (PHIVOLCS, CVGHM, CEA, VAST, Academia Sinica) のメンバーと共に作成した災害情報図である。完新世火山の分布、大規模火山噴火 (VEI6 以上) の噴火による降下テフラ分布域、主要カルデラの位置、大規模火砕流の分布、大規模火山噴火による犠牲者数、M6 以上の地震の震源分布、大規模地震の震源域、主要活断層の分布、大規模津波の分布、津波の最大到達高度、地震の犠牲者数等を取りまとめている (図 2) . 東アジア地域の火山噴火による降灰実績を把握するため、スミソニアンデータベースから噴火イベントを抽出した。東アジア地域における完新世の爆発的噴火 (ロシア、米国を除く) は 3,446 件である。このうち VEI7 は 4 件、VEI6 は 19 件であり、VEI5 以下は VEI2 まで指数関数的に増加する。VEI7 と VEI6 のイベントの多くは広範囲に降下火砕物を分布させており、降下火砕物堆積物の分布が公表されているものを表現した。給源火口的位置と地形的なカルデラ縁を地図上で示した。更新世の VEI7-8 の噴火のうち、分布がよく調べられている噴火として始良 (30 ka)、トバ (74 ka)、阿蘇 (90 ka) を防災対策上の参考のために示した。また、12 の代表的な大規模火砕流堆積物 (VEI6-8) の分布を表示した。VEI8 では、インドネシア Toba 火砕流堆積物 (74 ka, 2,500-3,000 km³)、VEI7 では、入戸火砕流堆積物 (30 ka, 350 km³)、阿蘇 4 火砕流堆積物 (90 ka, 600 km³)、洞爺火砕流堆積物 (110 ka, 170km³)、支笏火砕流堆積物 (40 ka, 300 km³)、屈斜路 4 火砕流堆積物 (120 ka, >150 km³)、白頭山火砕流堆積物 (938 AD, >100 km³)、タンボラ火砕流堆積物 (1815 AD, 100 km³) を示した。VEI6 では、八戸火砕流堆積物 (15 ka, 20 km³)、ピナツボ火砕流堆積物 (1991AD, 10.4 km³)、クラカタウ火砕流堆積物 (1883 AD, 13.6 km³)、ラバウル火砕流堆積物 (540 AD, 11 km³) を示した。

さらに、東アジア地域の主要火山の犠牲者数を取りまとめた。各国西暦 1400 年以降の上位 5~30 のイベントを取り上げた。日本では上位 24、フィリピンでは上位 15、インドネシアでは上位 30、パプアニューギニアでは上位 5 のイベントを地図上及び表に示した。犠牲者数は、原因ごとに、火砕流、岩屑なだれ、降下火砕物及び噴石、火山泥流、津波、火山ガス、その他関連事象 (伝染病や飢饉) に区分した。日本の火山災害では、犠牲者の多い順に、1792 年雲仙眉山岩屑なだれ (15,000 人、津波)、1783 年浅間天明噴火 (1,491 人、火砕流、岩屑なだれ、火山泥流)、1741 年渡島大島岩屑なだれ (1,467 人、津波)、1640 年北海道駒ヶ岳岩屑なだれ (700 人、津波)、1888 年磐梯山岩屑なだれ (477 人、岩屑なだれ)、1858 年立山岩屑なだれ (279 人、火山泥流、飛越地震に誘発された岩屑なだれと火山泥流) となっている。インドネシアの火山災害では、多い順に、1815 年タンボラ火山噴火火砕流と津波 (60,000 人、火砕流と関連死)、1883 年クラカタウ火山噴火 (36,417 人、火砕流と津波)、1586 年ケルト火山噴火 (10,000 人、火砕流)、1919 年ケルト火山噴火 (5,110 人、火砕流及び火山泥流)、1822 年ガルングン火山噴火 (4,011 人、火砕流) となっている。また、1979 年ディエン火山噴火では、火山ガスにより 149 人が犠牲者となっている。

これらのデータは GIS で作成されており、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム (<http://ccop-geoinfo.org/G-EVER>) 上でも随時公開を進めている。こうした地震、津波、火山噴火による影響範囲、被害の内容を詳細に取りまとめる予定である。

なお、東アジア地域地震火山災害情報図は、<https://unit.aist.go.jp/ievg/press/20160520/index.html> より、図と解説文をダウンロードできる。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Takarada, S., Ishikawa, Y., Maruyama, T., Yoshimi, M., Matsumoto, D., Furukawa, R., Teraoka, Y., Bandibas,
J.C., Kuwahara, Y., Azuma, T., Takada, A., Okumura, K., Koizumi, N., Tsukuda, E., Solidum, R.U.,
Daag, A.S., Cahulogan, M., Hidayati, S., Andreastuti, S., Li, X., Nguyen, H.P., Lin, C-H., 2016, Eastern
Asia Earthquake and Volcanic Hazards Information Map. Geological Survey of Japan, AIST.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

CCOP 関連諸国の研究機関等と連携し , 一定の基準・精度をもった地震・活断層・津波・火山関連デー
タを東~東南アジア地域において作成し , 各国で共有できるようにする . 平成 29 年度は , 東アジア地
域地震火山災害情報図の内容に加え , CCOP 地質情報総合共有プロジェクト等を通じて各国が保有す
る地震火山関連のデータ整備を進める . これらの地震火山関連の情報を , アジア太平洋地域地震火山
ハザード情報システムで順次公開するとともに , GIS 形式のデータ整備を進める .

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門

他機関との共同研究の有無 : 有

CCOP , GEM , GVM, PHIVOLCS (Philippine Institute of Volcanology and Seismology), CVGHM(Center
for Volcanology and Geological Hazard Mitigation), INGV(Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanolo
gia), CGMW(Commission for the Geological Map of the World)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門

電話 : 029-861-3656

e-mail : g-ever-ml@aist.go.jp

URL : <http://g-ever.org/>

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 宝田晋治

所属 : 活断層・火山研究部門

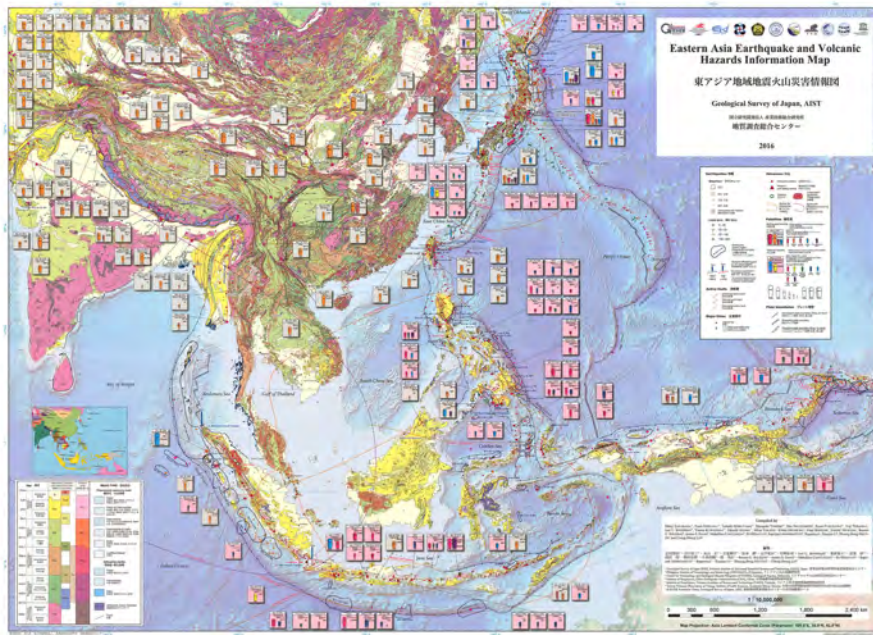


図 1. 東アジア地域地震火山災害情報図.

東アジア地域の完新世火山の分布，大規模火山噴火 (VEI6 以上) の噴火による降下テフラ分布域，主要カルデラの位置，大規模火砕流の分布，大規模火山噴火による犠牲者数，M6 以上の地震の震源分布，大規模地震の震源域，主要活断層の分布，大規模津波の分布，津波の最大到達高度，地震の犠牲者数等を取りまとめている。

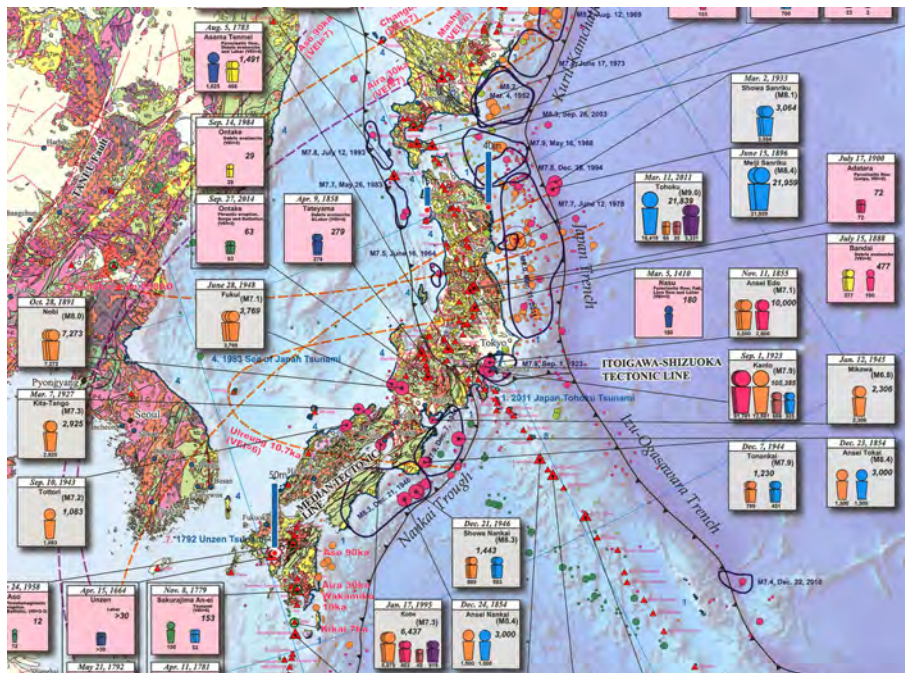


図 2. 東アジア地域地震火山災害情報図. 日本付近の拡大.

災害規模，犠牲者数とその要因などがアイコンで表示されているため，一目で対象地域の災害状況を把握できる。

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

内陸の地殻活動の発生・準備過程の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

中長期的な地震発生予測の精度向上に資するため、測地学的手法による内陸地震発生域における詳細な地殻変動分布の解明、震源断層モデル推定手法の高度化及び余効変動の時間変化とその発生メカニズムの解明を通して、内陸地震発生域の地殻活動を詳細に理解する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度は、新潟県佐渡市から阿賀町に設置された GNSS 観測点においてキャンペーン観測を実施する。また、これまでの観測結果に基づき、地殻の不均質構造を考慮した地殻変動の再現シミュレーションを実施する。

平成 26 年度～28 年度は、過去に発生したマグニチュード 6～7 クラスの地震について、不均質構造を考慮して震源断層モデルの再解析を実施する。また、長期間継続する余効変動の抽出とその発生メカニズムのモデル化を実施する。

平成 28 年度～30 年度は、時間分解能の高い GNSS 時系列データを用いて過去の内陸地震発生後の初期の余効変動の抽出とその発生メカニズムのモデル化を実施する。そして、地震発生直後の短期間と長期間の余効変動及びその発生メカニズムの比較を行う。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

1) 平成 28 年(2016 年) 熊本地震

平成 28 年(2016 年)熊本地震に関連して、一連の地震に伴う地殻変動を GNSS 連続観測、緊急 GNSS 観測および SAR 干渉解析により捉えた。また、得られた地殻変動から断層モデルの推定を行った。

・地殻変動の把握：平成 28 年(2016 年)熊本地震の前震および本震(4 月 14 日 M6.5、4 月 15 日 M6.4、4 月 16 日 M7.3)による地殻変動を GNSS 連続観測により捉えた。4 月 14 日 M6.5 および 4 月 15 日 M6.4 の地震による地殻変動に関しては、1 秒データを用いたキネマティック解析からそれぞれの地震に伴う地殻変動の分離に成功している。また、4 月 18 日 M5.8 熊本県阿蘇地方、4 月 29 日 M4.5 大分県中部の地震に伴うわずかな地殻変動も検出した。一方、SAR 干渉解析からも 4 月 14 日 M6.5 および 4 月 16 日 M7.3 の地震に伴う大規模な地殻変動が捉えられた。

・断層モデルの推定：SAR および GNSS 連続観測で観測された地殻変動から、4 月 14 日 Mj6.5 および 4 月 15 日 Mj6.4 の地震の震源断層は、北東 - 南西方向のやや西に傾き下がる高角の断層が右横ずれ的に動いたと推定された(図 1)。4 月 16 日 Mj7.3 の本震は、布田川断層帯および日奈久断層帯に沿った位置に震源断層が推定された。布田川断層帯では北西傾斜の断層面とその東側延長に南東傾斜の断層面、日奈久断層帯では北西傾斜の断層面で、それぞれ右横ずれ的な断層運動が生じたと推定された(図 2)。

・余効変動：一連の地震に伴い余効変動が観測されている(図 3)。震源域近傍では地震時と若干異なる変動を示す観測点があるが、その他は地震時とほぼ同じ変動パターンが観測されている。また地震後 90 日程度は急激な変動が続いたが、その後はゆっくりとした変動が続いている。

2) 鳥取県中部の地震

鳥取県中部の地震 Mj6.6(2016 年 10 月 21 日)による地殻変動を GNSS 連続観測および ALOS-2 衛星による SAR 干渉解析により検出した。4 方向の干渉 SAR データを用いることにより、地表変位の 3 次元成分(東西・南北・上下)を獲得することに成功した(図 4)。SAR および GNSS で観測された地殻変動を基に滑り分布を推定した結果、北北西 - 南南東走向の垂直な断層面上における左横ずれ運動が推定された(図 4)。また、わずかな余効変動も観測され、空間パターンは地震時の変動とほぼ類似した分布となっている。

3) 茨城県北部の地震

茨城県北部の地震 Mj6.3(2016 年 12 月 28 日)による地殻変動を GNSS 連続観測および ALOS-2 衛星による SAR 干渉解析により検出した。最大の地殻変動が観測される領域では、長さ約 2 km の変位の不連続が認められた(図 5)。矩形断層一様滑りの震源断層モデルを推定した結果、南西傾斜の断層面上における正断層運動が推定された。変位の不連続が見られた最大変位域では、直下のごく浅部に局所的な滑りが求まった。

4) 新潟ひずみ集中帯

平成 28 年 9 月 ~ 11 月に新潟県佐渡市から阿賀町における GNSS 繰り返し観測を実施した。新潟県周辺では、東北地方太平洋沖地震の余効変動により東西方向の伸張が卓越していたが、時間と共に伸張は小さくなってきている(図 6)。2015 年 10 月 ~ 2016 年 10 月の 1 年間では、一部の場所において北西 - 南東方向の短縮が卓越し、面積歪では短縮になっている場所もあることが分かった。

5) 長野県北部の地震

長野県北部の地震 Mj6.7(2014 年 11 月 22 日)の余効変動を GNSS 連続観測により検出した。地震時の変動と類似した分布になっていること、余効変動はおおよそ 3 か月程度で終息したように見えることが分かった。

6) ニュージーランド南島の地震

ニュージーランド南島で発生した地震 Mw7.8(2016 年 11 月 13 日)による地殻変動を ALOS-2 衛星によるピクセルオフセット解析により検出した(図 7)。Kekerengu 断層、Jordan 断層および Hope 断層沿い等で地表地震断層に伴うと考えられる変位の不連続が捉えられた。震源断層モデル計算から、右横ずれ、左横ずれ、逆断層成分が卓越する複雑な断層運動が関与したことが分かった。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

- 檜山洋平・川元智司・古屋智秋・甲斐玲子・山口和典・鈴木 啓・菅富美男・嵯峨諭，2017，GEONET による熊本地震に伴う地殻変動，国土地理院時報，128，印刷中。
- Kawamoto, S., Y. Hiyama, Y. Ohta, and T. Nishimura, First result from the GEONET real-time analysis system (REGARD): the case of the 2016 Kumamoto earthquakes, Earth Planets Space, 68:190, doi: 10.1186/s40623-016-0564-4.
- Kobayashi, T., 2017, Earthquake rupture properties of the 2016 Kumamoto earthquake foreshocks (Mj6.5 and Mj6.4) revealed by conventional and multiple-aperture InSAR, Earth Planets Space, 69:7, doi: 10.1186/s40623-016-0594-y.
- 水藤 尚・小林知勝・川元智司・森下 遊，2015，ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究（第2年時），国土地理院調査研究年報（平成28年度），印刷中。
- 上芝晴香・三浦優司・宮原伐折羅・仲井博之・本田昌樹・攪上泰亮・山下達也・矢来博司・小林知勝・森下 遊，2017，だいち2号 SAR 干渉解析による熊本地震に伴う地殻変動の検出，国土地理院時報，128，印刷中。
- 矢来博司・小林知勝・森下 遊・藤原 智・檜山洋平・川元智司・上芝晴香・三浦優司・宮原伐折羅，2017，熊本地震に伴う地殻変動から推定された震源断層モデル，国土地理院時報，128，印刷中。

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 28 年度に引き続き、佐渡市 - 阿賀町における GNSS 繰り返し観測を行い、この地域の地殻変動詳細分布と時間変化を明らかにする。また、長野県北部の地震、熊本地震等内陸で発生した地震の余効変動のモデル化を試みる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：有
名古屋大学、東北大学、東京大学地震研究所

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss@ml.mlit.go.jp
URL：http://www.gsi.go.jp

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢来博司
所属：地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

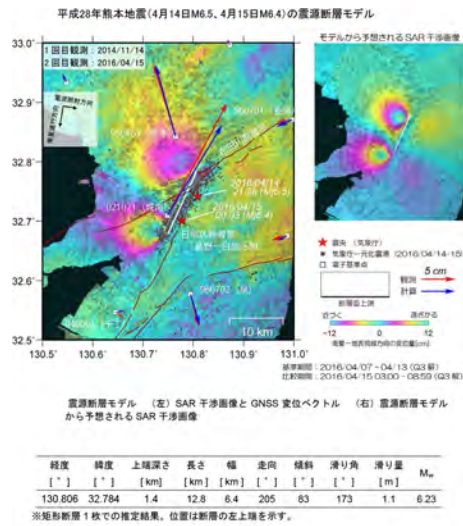


図1. 4月14日M6.5および4月15日M6.4の地震の震源断層モデル。

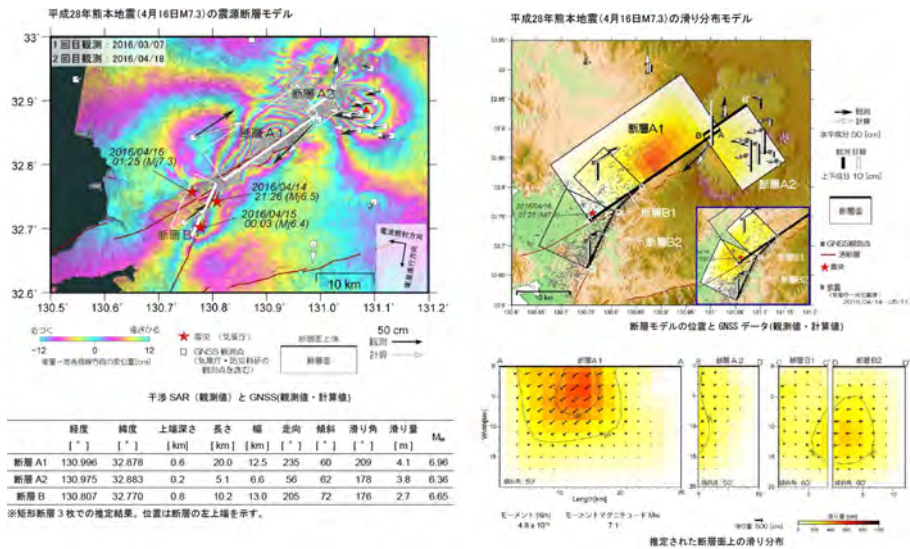


図2. 4月16日M7.3の地震の震源断層モデル。
(左) 矩形断層モデル。(右) 滑り分布モデル。

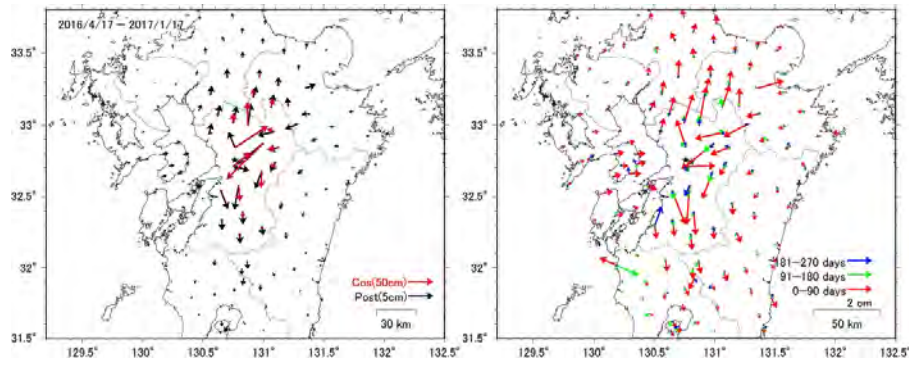


図3．平成28年熊本地震の余効変動。
 (左)地震時の変動と余効変動の比較。(右)地震後3か月ごとの余効変動。

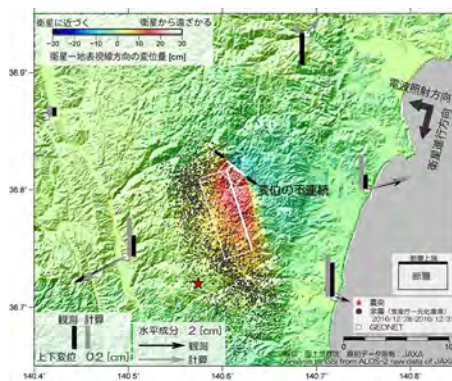


図4．干渉SAR解析およびGNSS連続観測から得られた茨城県北部の地震Mj6.3(2016年12月28日)に伴う地殻変動。

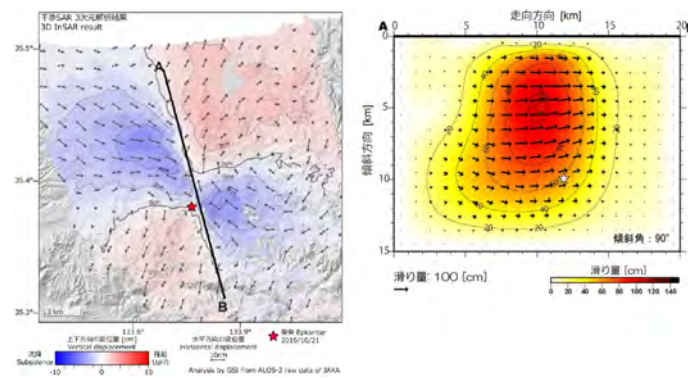


図5．鳥取県中部の地震Mj6.6(2016年10月21日)による地殻変動と滑り分布モデル。
 左)干渉SAR3次元解析によって計測された地殻変動分布．赤は隆起、青は沈降、矢印は地殻変動の水平成分の向きと大きさを示す。(右)滑り分布モデル。星印は、震源の断層面への投影位置。

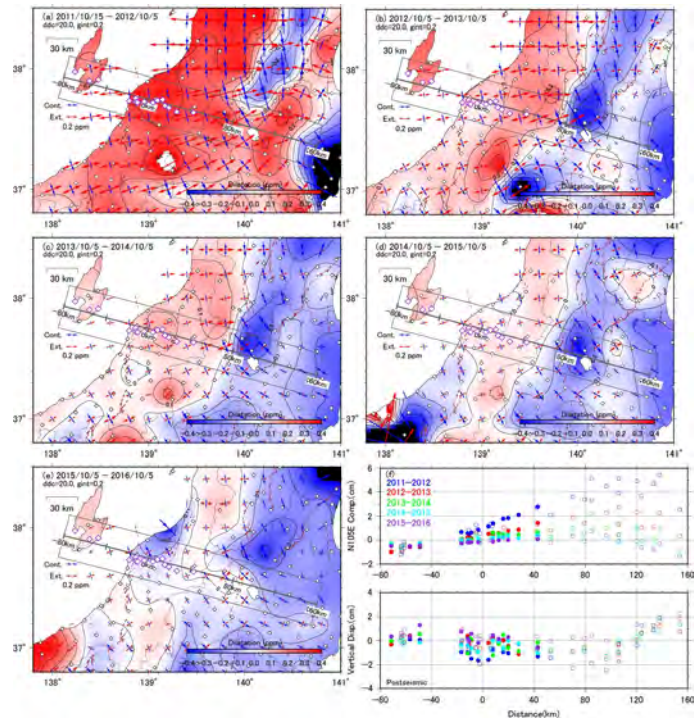


図 6 . 東北地方太平洋沖地震発生後の新潟県周辺のひずみ場。

(a)2011年10月～2012年10月。(b)2012年10月～2013年10月。(c)2013年10月～2014年10月。(d)2014年10月～2015年10月。(e)2015年10月～2016年10月。(f) N105E断面のプロファイル。上段はN105E成分、下段は上下成分。白抜きは GEONET 観測点、色塗りは繰り返し観測点。プロファイルの位置は (a) ~ (e) の灰色線。

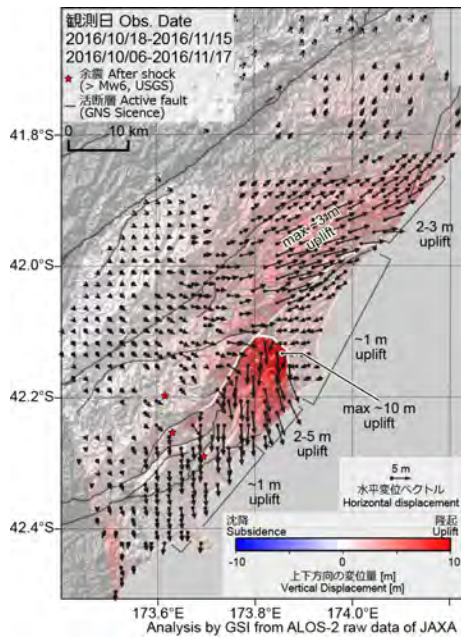


図 7 . ピクセルオフセット解析から得られたニュージーランド南島の地震 Mw7.8 (2016 年 11 月 13 日) に伴う地殻変動。

色は上下方向、矢印は水平方向の変位量を示す。

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山地域のマグマ供給系のモデリング

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山地域のモデルにシル、ダイク、テクトニックな変形を取り入れ、マグマ溜りの膨張・収縮及びマグマの移動まで含めた解析を行えるようにし、開発された手法を用いて特定の火山地域を半自動で解析・監視できるシステムを構築する。構築されたシステムを適用して、マグマ供給系の時間変化に関する知見を得る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度においては、伊豆大島、桜島のモデルにシル、ダイク、テクトニックな変形を取り入れられるように解析手法を改良し、過去のイベントも考慮して、地殻変動の観測結果を適切に説明できるモデルを構築する。

平成 27 年度においては、平成 26 年度に開発された解析手法の非線形化を行い、マグマ溜りの膨張・収縮に加えてマグマの移動まで含めた時間変化を推定できるようにし、この開発された解析手法の妥当性の評価を行う。

平成 28～29 年度においては、前年度までに開発された非線形の解析手法を実際のデータに適用して伊豆大島、桜島のマグマ溜り、シル、ダイク、テクトニックな変形のモデリングを行う。また開発された手法を元にモデリング及び結果の可視化を半自動で行えるシステムの構築を行う。

平成 30 年度においては、伊豆大島、桜島以外の火山に対象を広げる。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

時間依存インバージョンにより、桜島、伊豆大島の地下のマグマ溜りの体積の時間変化を推定した。その結果、桜島では 2015 年 8 月 15 日のダイクの貫入後に、桜島直下の想定マグマ溜りで体積膨張が停滞した後、膨張が急速に進み、錦江湾の地下の想定マグマ溜りにおいては体積膨張が継続して見られることがわかった。また伊豆大島では、2015 年末頃から体積収縮が急速に進行し、2016 年半ば頃から収縮に転じて 2016 年末頃から膨張に転じていることが推定された。非線形の解析は当初の予定通り進まず、伊豆大島のマグマ溜りの深さ変化の推定に適用した。その結果、2004 年から 2012 年頃まで、マグマ溜りの深さが 1km の深さまで浅くなり、その後深さ 2km くらいに落ち着くという深さ変化が推定された。深さ 1~2km はかなり浅いので、この結果は計算上でできたもので、実際には起きていないと思われ、今後さらなるモデル化を進めていく必要がある。半自動のシステム開発には至らなかった。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- 国土地理院, 2016, 桜島の茂木ソースの位置と体積変化, 135 回火山噴火予知連絡会桜島資料, 49-51.
国土地理院, 2016, 伊豆大島の茂木ソースの位置と体積変化, 135 回火山噴火予知連絡会伊豆・小笠原諸島資料, 47-48.
国土地理院, 2016, 桜島の茂木ソースの位置と体積変化, 136 回火山噴火予知連絡会桜島資料, 49-52.
国土地理院, 2016, 伊豆大島の茂木ソースの位置と体積変化, 136 回火山噴火予知連絡会伊豆・小笠原諸島資料, 40-42.
Y. Morishita, T. Kobayashi, and H. Yarai, 2016, Three-dimensional deformation mapping of a dike intrusion event in Sakurajima in 2015 by exploiting the right- and left-looking ALOS-2 InSAR, Geophys. Res. Lett., 43, doi:10.1002/2016GL068293.
小林知勝, 2016, 数値気象モデルを用いた干渉 SAR の大気遅延誤差の低減効果について ~ 2015 年桜島マグマ貫入イベントの解析を例に ~ , 測地学会誌, 62, 79-88 .

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

開発された非線形の時間依存インバージョン解析プログラムを実際のデータに適用して伊豆大島、桜島のマグマ溜り、シル、ダイク、テクトニックな変形のモデリングを行う。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無 : 無

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話 : 029-864-5954
e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp
URL : <http://www.gsi.go.jp>

- (13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司
所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

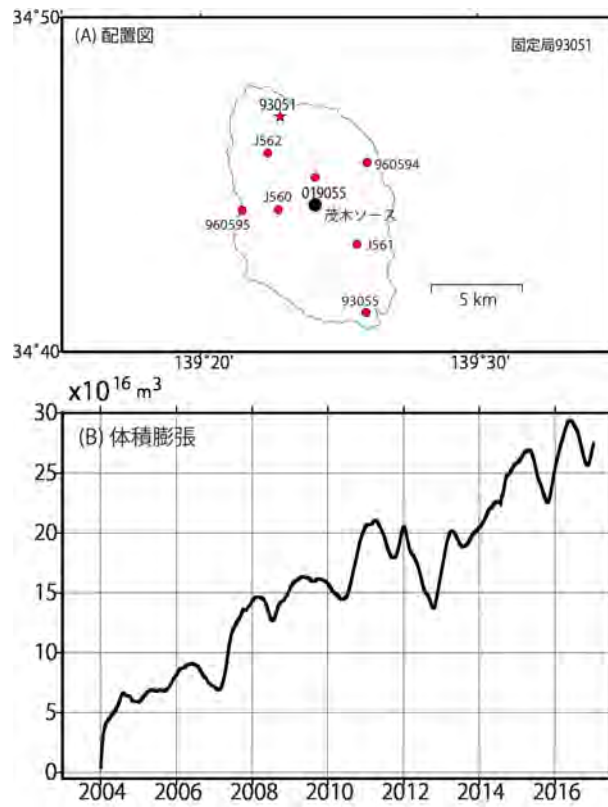


図1 伊豆大島のマグマ溜りの体積変化

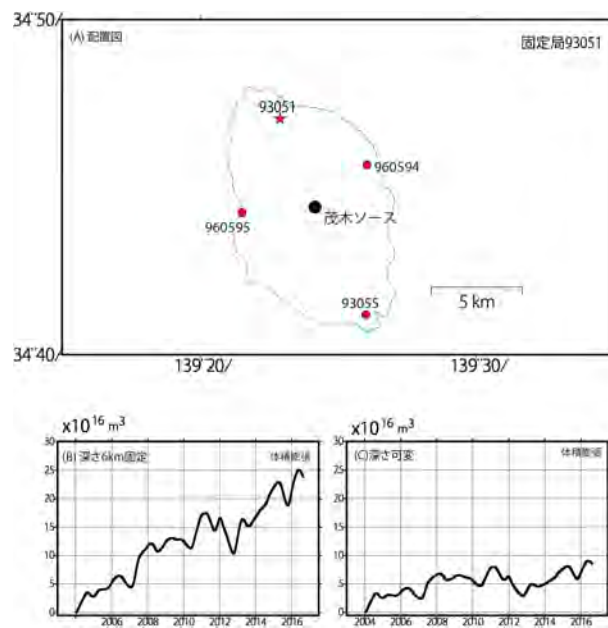


図2 桜島の茂木ソースの体積変化

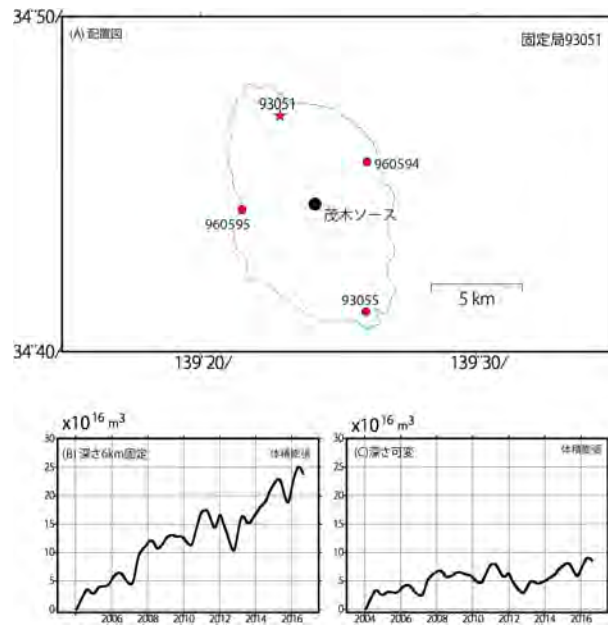


図3 深さ固定と可変の茂木ソースの体積変化

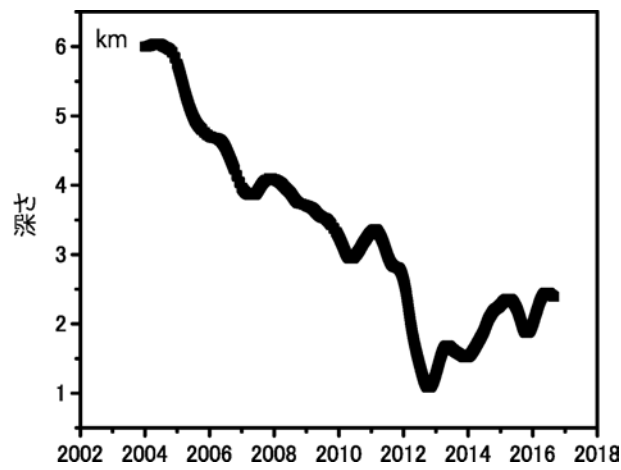


図4 伊豆大島の深さ可変モデルの深さ変化

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

プレート境界面上の滑りと固着の時空間変化の広域的な把握

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本を構成するマイクロプレートの動き、海底地殻変動データを解析に取り入れ、広域的な地殻変動データから、日本の主要な領域のプレート間の固着・滑りの推定を行う解析手法を開発し、プレート間の固着・滑りの推定結果の精度を高める。開発された手法を用いて、日本のプレート境界の広域的な固着・滑りの時空間変化を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、ブロック断層モデルの形状のモデル化を行い、並行してブロック断層モデルの解析プログラムの開発を行う。また海底地殻変動データの取り入れ手法の開発を行う。

平成 27～28 年度においては、開発されたプログラムを広域の地殻変動データに適用し、日本の主要な領域のプレート境界の滑りの時空間変化について、広域的なモデルを推定を行ない、従来手法と比較した精度の向上を確認する。さらに、その解析及び監視を半自動で行えるシステムの構築を行う。

平成 29～30 年度においては、開発されたシステムを用いて、日本のプレート境界の固着・滑りの現在までの時空間変化を推定し、その地震発生準備過程における意味を考察する。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

ブロック断層モデリングを時間変化も含めて解析できるようにし、東北地方太平洋沖地震前の日本列島の解析を行った。その結果、2003 年の十勝沖地震のアフタースリップが明瞭に捉えられた。2005

年の宮城県沖の地震のため、2006年に宮城沖合のすべり欠損が小さくなる様子が捕らえられた。また2008年の茨城沖、福島沖の地震後の余効変動のために、2008年以降、茨城沖、福島沖でのプレート境界のすべり欠損が小さくなっていることが推定された。西南日本のフィリピン海プレートと陸側プレート間の滑り欠損では、豊後水道の長期的なスロースリップ、東海の長期的なスロースリップ、九州東岸のスロースリップをとらえられた。2013年以降の全国の解析でも、東海スロースリップ、紀伊水道のスロースリップ、豊後水道のスロースリップ及び九州東岸のスロースリップが検出され、本解析手法の有効性が確認された。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Ozawa S., M. Tobita, H. Yarai, 2016, A possible restart of an interplate slow slip adjacent to the Tokai seismic gap in Japan, EPS (in press).

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

開発された時間依存のブロック断層モデリングプログラムを使用して、日本のプレート境界の固着・滑りの現在までの時空間変化を推定する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話 : 029-864-5954
e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp
URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司
所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

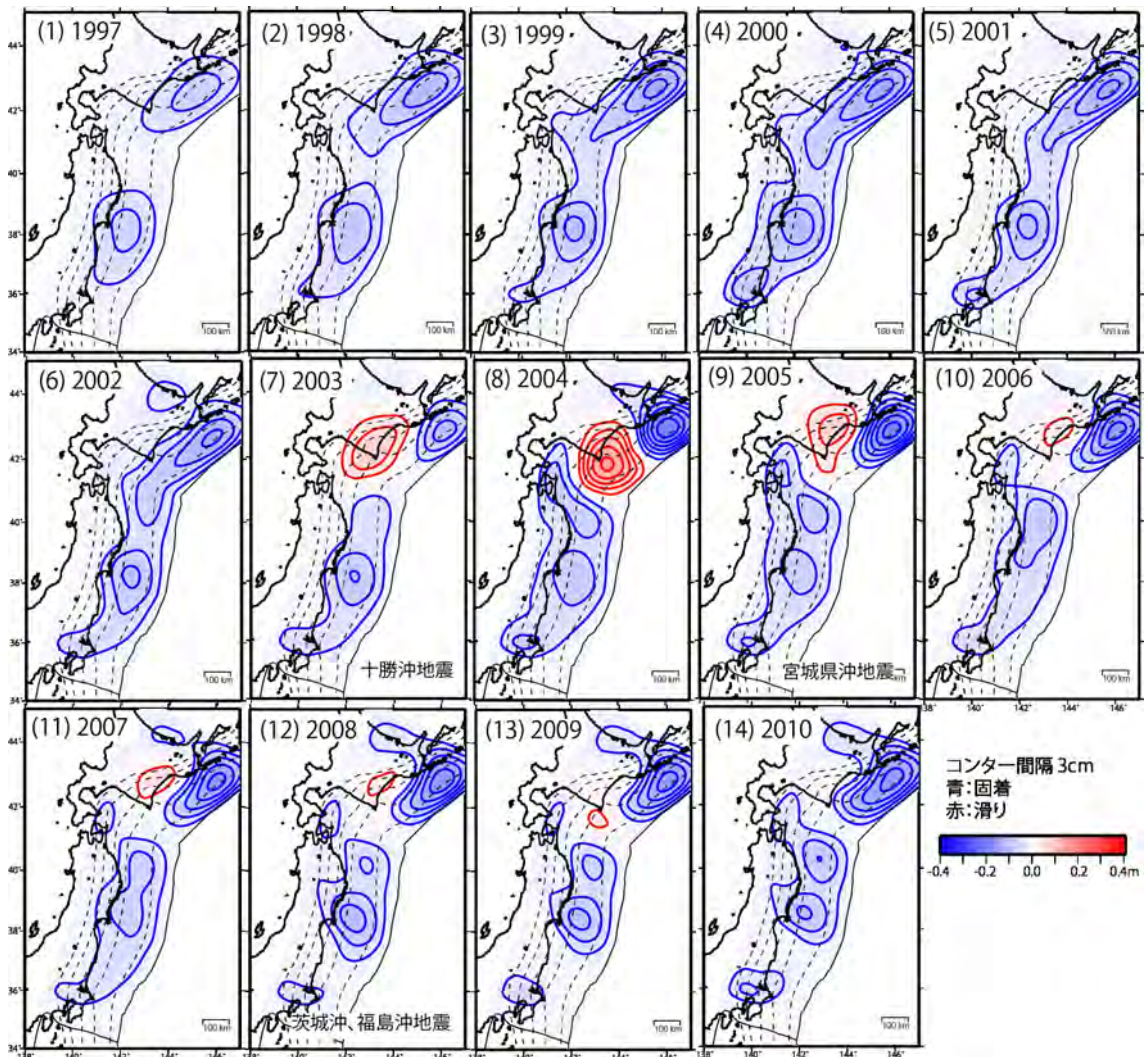


図1 東北地方太平洋プレート上滑り欠損及び滑り

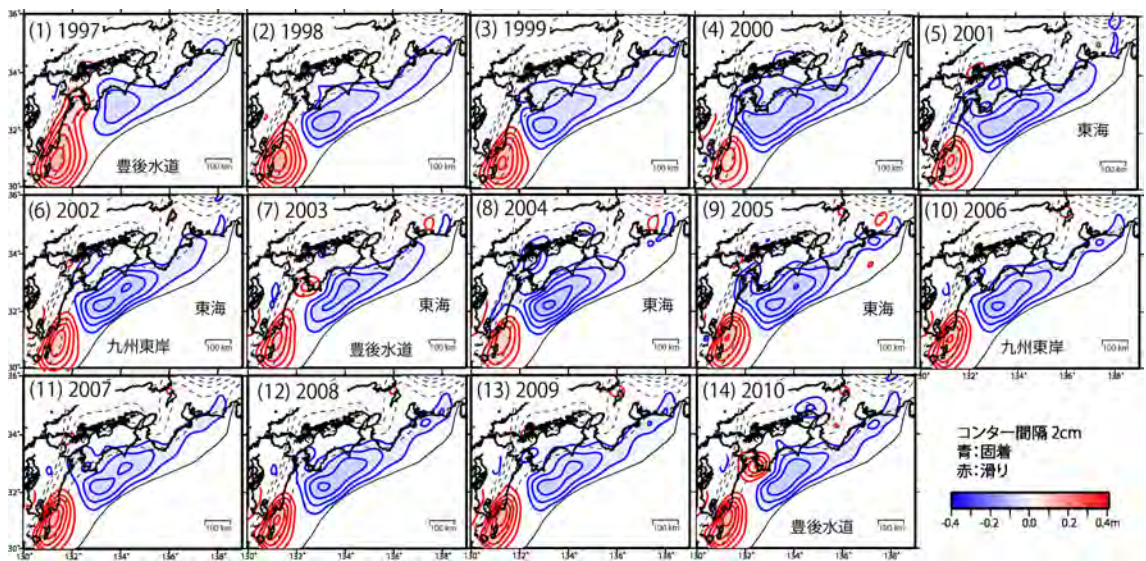


図2 西南日本のフィリピンプレート上のすべり欠損及び滑り

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

GNSS を用いた震源メカニズム即時推定技術の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大地震の際に被害集中域の早期把握及び津波予測の高度化に資することを目指した、GNSS 解析から得られるリアルタイム地殻変動データを用いて震源メカニズムを即時に推定する技術を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

大地震の際に GNSS 解析から得られるリアルタイム地殻変動データを用いて地殻変動の原因である断層の震源メカニズムを即時推定する技術の開発を行う。開発した技術については過去の地震についてシミュレーションデータ等を用いて検証を行い、GEONET リアルタイム解析システムへ組み込むための基礎技術とする。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度においては、観測点周辺の地物からのマルチパス誤差を、長期間の位相残差データをスタックし数値化することで、マルチパス誤差を定量的に評価する手法を開発した。また、得られたマルチパス誤差を補正值としてキネマティック GNSS 解析に用いることで、精度の向上が見込めることを確認した。さらに GEONET リアルタイム解析システムで用いている有限断層モデル推定ルーチンの改良を行った。まず、海溝沿いのすべり分布モデルを、適用する地震の対象領域を絞ることで誤ったモデル推定を行う可能性を軽減した。また、矩形断層モデルの評価に用いる Variance Reduction (VR) の計算方法の見直しを行い、固定点で変位が発生した際にも適切な VR が算出されるよう改修を行っ

た。さらに、すべり分布モデルにおける地震規模計算時に一定のモデル誤差を下回るすべりを除外する処理により、M7.5 を超える地震で適切な地震規模が算出されるよう改修を行った。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
川元智司・檜山洋平・古屋智秋・佐藤雄大・太田雄策・西村卓也・等々力賢, 2016, 電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD) プロトタイプの開発, 国土地理院時報, 128.

Kawamoto, S., B. Miyahara, Y. Hiyama, Y. Sato, T. Furuya, Y. Ohta, T. Noshimura, and M. Todoriki, 2016, Real-time GNSS positioning system REGARD for rapid earthquake moment estimates, Proceedings of FIG 2016.

Kawamoto, S., Y. Hiyama, Y. Ohta, and T. Nishimura, 2016, First result from the GEONET real-time analysis system (REGARD): the case of the 2016 Kumamoto Earthquakes, Earth, Planets and Space, 68, 190.

Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miyagawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, J. Geophys. Res., in press.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度までに開発した震源断層モデルを即時推定する技術の安定性向上に向けた開発、検討を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室
他機関との共同研究の有無 : 有
東北大学、気象庁気象研究所

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話 : 029-864-5954
e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp
URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司
所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

GNSS 連続観測(GEONET)

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

GEONET による地殻変動連続観測を着実に継続し、日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングシステムの高度化をさらに推進することを目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

全国において、GNSS 連続観測点を平均 20 キロメートル間隔の配置として維持するとともに、観測を継続する。必要に応じて、重点的な観測地域において観測点密度を考慮した観測体制の充実を目指す。

電子基準点の GNSS 化・最新の ITRF 座標系の実現等に伴い GEONET の解析手法の高度化を図る。

国際 GNSS 事業(IGS)に参加して国内の IGS 点のデータ提供を継続することにより、GEONET で衛星の位置情報として用いる IGS 精密暦の精度を確保し、地殻変動やプレート運動監視の基準となる ITRF 座標系の構築に貢献する。

(電子基準点課、地殻監視課)

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

GEONET による地殻変動連続観測を実施し、日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に行った。地震については、東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動、2016 年 4 月 14 日以降に発生した平成 28 年(2016 年)熊本地震(M7.3,M6.5 など)、10 月 21 日に発生した鳥取県中部の地震(M6.6)、11 月 22 日に発生した福島県沖の地震(M7.4)、12 月 28 日発生した茨城県北部の地震

(M6.3) 等に伴う地殻変動を検出した。また、2014 年半ば頃からの紀伊水道周辺や 2015 年 12 月頃からの豊後水道周辺におけるプレート間ゆっくり滑り (スロースリップ) 現象に伴う非定常的な地殻変動を検出した。火山についても、硫黄島、桜島周辺等における火山活動に伴う地殻変動を検出する等、防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与した。また、これらのモニタリング結果は、速やかにホームページ等で公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告した。

(地殻監視課)

GNSS 連続観測点で故障等により観測に障害が発生した際には、速やかに復旧作業を実施することで観測の継続に努めた。さらに、定常的に実施する解析手法の一部について、より精度の高い解析結果が得られるよう改良を行い、その結果の外部提供を開始した。

また、国際 GNSS 事業 (IGS) に参加し、IGS 観測局の運用と IGS データセンターに観測データを提供した。

(電子基準点課)

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

川元智司・檜山洋平・国土地理院 GEONET グループ、GEONET によって検出された平成 28 年熊本地震による地殻変動、日本地球惑星科学連合 2016 大会

檜山洋平・川元智司・古屋智秋・甲斐玲子・山口和典・鈴木啓・菅富美男・嵯峨諭, 2016, GEONET による熊本地震に伴う地殻変動, 国土地理院時報, 128.

Kawamoto, S., Y. Hiyama, R. Kai, F. Suga, K. Yamaguchi, T. Furuya, S. Abe, and N. Takamatsu, 2016, Crustal deformation due to the Kumamoto Earthquake revealed by GEONET, Bulletin of GSI, 64.

檜山洋平・川元智司・甲斐玲子・山口和典・高松直史・佐藤明日花・宮原伐折羅・三浦優司・山下達也・矢来博司・森下遊, 2017, GEONET 及び SAR 干渉解析による鳥取県中部の地震に伴う地殻変動, 国土地理院時報, 129 (印刷中)

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

・電子基準点の GNSS 化・最新の ITRF 座標系の実現等に伴い GEONET の解析手法の高度化を図るとともに、観測の継続のため観測機器の更新を行う。

・引き続き国際 GNSS 事業 (IGS) に参加し、IGS 観測局の運用と IGS データセンターに観測データを提供する。

(電子基準点課)

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

測地観測センター 電子基準点課、地殻監視課

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

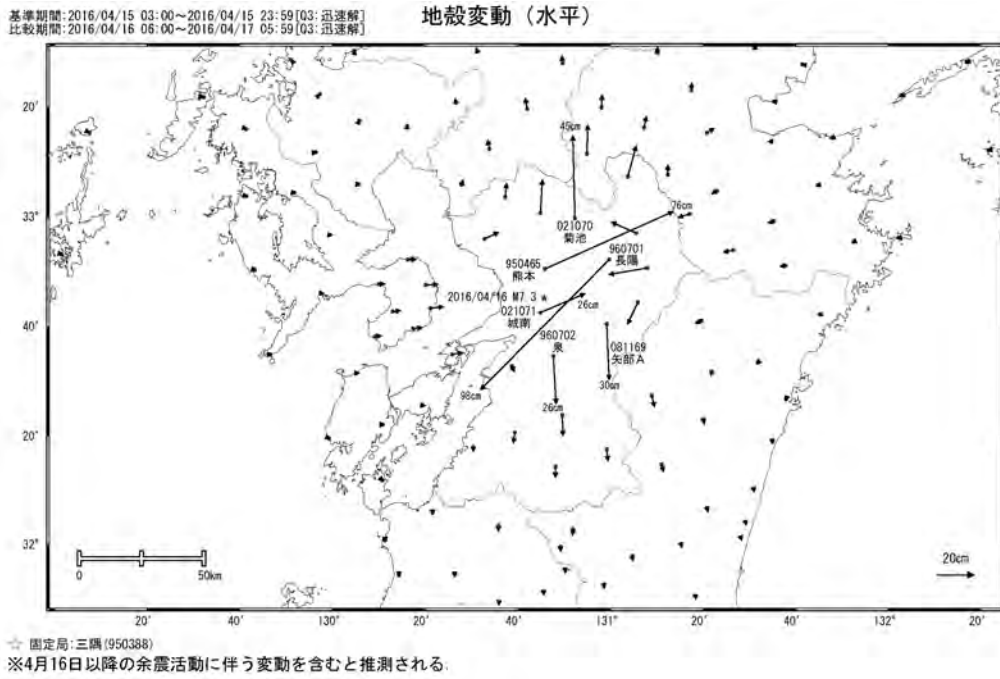


図-1 平成 28 年(2016 年)熊本地震(4 月 16 日 M7.3)前後の観測データ 地殻変動(水平)

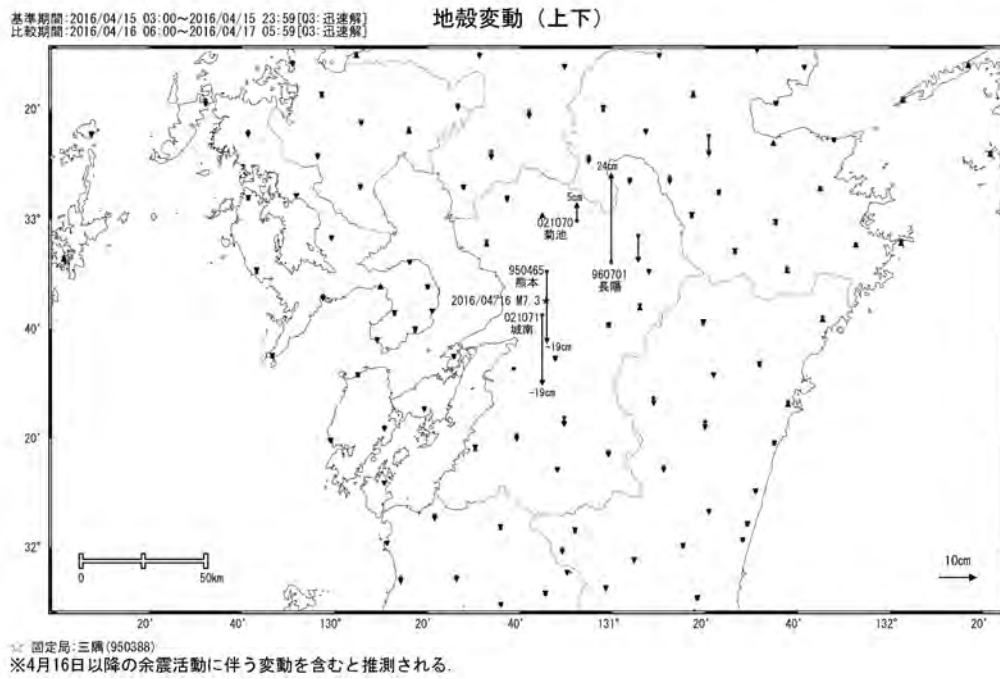


図-2 平成 28 年(2016 年)熊本地震(4 月 16 日 M7.3)前後の観測データ 地殻変動(上下)

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地形地殻変動観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本列島全域の地殻活動のモニタリングシステムの高度化に寄与するため、潮位連続観測を継続すると共に、観測システムの更新やデータの共有化を進める。

地殻変動連続観測を着実に継続して実施することを通じて、東海地域の地殻活動のモニタリングシステムの高度化を更に推進することを目指す。(地殻監視課)

基本測量に関する長期計画の施策を基本に、大規模地震対策特別措置法に基づく「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域を対象として、定期的に水準測量を実施し信頼性のある高精度の地殻上下変動量データを取得する。

火山性の地殻変動を詳細に捉えるため、GNSS 火山変動リモート観測装置(REGMOS)及び自動測距測角装置による連続観測を実施し、火山活動が活発化した地域においては、水準測量等による機動観測を実施し、火山観測体制の強化を図る。

(測地基準課、電子基準点課、地殻監視課)

航空機 SAR を利用して、活動的な火山における火口等の地形測量を実施し、形状の情報を蓄積する。(地図情報技術開発室)

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

全国 25 験潮場での潮位連続観測を引き続き実施するとともに、GNSS 連続観測点のデータを用いて験潮場の地盤上下変動等を補正し、絶対潮位データを作成することで日本周辺の海面変動トレンドの定量的な評価を行い、これらの験潮場の観測データをホームページ等で公開していく。また、潮位データの共有化を進め、津波等の発生時における予測や終息等の防災情報の発信への活用を図る。

御前崎及び切山においてひずみ計、水管傾斜計、地震計等の地殻変動連続観測を引き続き実施し、地殻変動の監視を行う。得られたデータは、地震予知連絡会、地震防災対策強化地域判定会等の会議に適宜報告する。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費および災害情報整備推進費に基づいた計画である。(地殻監視課)

「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域の水準路線 2,089 キロメートルを対象に、平成 26 年度においては 1,496 キロメートルの水準測量を実施し、平成 27 年度以降においては対象となる水準路線の中から特定の路線を中心に定常的な観測を実施する。

火山周辺域では、引き続き REGMOS 及び自動測距測角装置による連続観測、水準測量等による観測を実施し、平成 26 年度においては十勝岳（水準）、樽前山（水準、GNSS）において測量を実施する。

以上は、国土地理院経費のうち災害情報整備等推進費に基づいた計画である。

（測地基準課、電子基準点課、地殻監視課）

全国の活動的な火山を航空機 SAR によって観測を実施し、火口付近の地形を明らかにして、地形情報をアーカイブする。また、活発な噴火活動によって災害が発生した際には、地形変化を明らかにする。

平成 26 年度においては、桜島の航空機 SAR による観測を実施し、地形解析を行う。

（地図情報技術開発室）

（ 8 ）平成 28 年度の成果の概要：

全国 25 験潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施するとともに、これらの観測データのホームページで公開した。また、防災情報の発信への活用のため、関係機関と潮位データの共有化を進めた。

御前崎及び切山においてひずみ計、水管傾斜計、地震計等の地殻変動連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施した。また、自動測距測角装置による連続観測を 1 火山で実施した。これらの得られたデータは、地震予知連絡会、地震防災対策強化地域判定会等の会議に適宜報告した。

（地殻監視課）

機動観測は、火山周辺地域において GNSS 火山変動リモート観測装置（REGMOS）等による連続観測を 10 火山で実施した。また、GNSS による機動連続観測を 7 か所で実施した。

（電子基準点課）

水準測量は、御前崎周辺で年 2 回の繰り返し観測（延べ 173 キロメートル）を実施したほか、神奈川、駿河、遠州、紀伊南、室戸、東北地域において（延べ 1,173 キロメートル）を実施した。

（測地基準課）

桜島及び口永良部島について、航空機 SAR による観測を実施した。

（地図情報技術開発室）

（ 9 ）平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

国土地理院, 2016, 日本全国の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 96, 9-23

国土地理院, 2016, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 96, 191-233

国土地理院, 2016, 中国・四国地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 96, 371-378

（ 10 ）平成 29 年度実施計画の概要：

全国 25 験潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施するとともに、これらの観測データの引き続きホームページで公開する。また、防災情報の発信への活用のため、関係機関と潮位データの共有化を行う。

御前崎及び切山において、ひずみ計、水管傾斜計、地震計等の地殻変動連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施する。また、自動測距測角装置による連続観測を 1 火山（伊豆大島）で実施する。これらの得られたデータは、地震予知連絡会、地震防災対策強化地域判定会等の会議に適宜報告する。

（地殻監視課）

機動観測は、火山周辺地域において GNSS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS) 等による連続観測を 10 火山 (樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳、浅間山、富士山、箱根山、伊豆東部火山群、伊豆大島、硫黄島、霧島山) で実施する。また、GNSS による機動連続観測を、牡鹿 (1 か所) 及び静岡県中西部 (5 か所) において継続実施する。

(電子基準点課)

水準測量は、御前崎周辺で年 2 回の繰り返し観測 (延べ 170 キロメートル) を実施するほか、神奈川、室戸、足摺等 (延べ 1,045 キロメートル) を実施する。

(測地基準課)

活動的な火山を航空機 SAR によって観測を実施し、数値標高モデルを用いた変化部分の把握等の地形解析を行う。

(地図情報技術開発室)

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

測地観測センター 電子基準点課、地殻監視課

測地部 測地基準課

基本図情報部 地図情報技術開発室

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

物理測地観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本重力基準網 2013 (JGSN2013) の構築及び公表。

磁気図 2015.0 年値及び 2015.0 年値磁気偏角一覧図の刊行並及び毎年度の磁気データの提供。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震・火山現象の理解とその予測研究に必要な基礎的資料を整備するため、日本列島域を対象とした絶対重力観測及び地磁気の連続観測を実施するとともに、地殻変動に伴う局所的な重力の変化を詳しく捉えるため重力測量を実施する。また、南海トラフ巨大地震の想定震源域において、繰り返し絶対重力観測を実施しその重力変化を把握する。

さらに富士山中腹において、全磁力の連続観測を行う。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度重力測量については、南海・東南海地域を含む全国で基準重力 3 点の絶対重力観測、一等重力点等 146 点で相対重力観測を実施し、日本重力基準網の基準となる重力値を得るとともに重力値の時間的な変化を把握した。

日本重力基準網 2016(JGSN2016) を構築し、約 300 点の基準・一等重力点の重力値を公開した。

地磁気測量については、鹿野山測地観測所、水沢測地観測所、江刺観測場及び全国 11 点の地磁気連続観測点で地磁気連続観測を実施した。また、地磁気連続観測点 10 点及び一・二等磁気点 3 点で地磁気絶対観測等を実施し、日本全国の地磁気の時間変化及び地理的分布を把握した。さらに、富士山中腹において、全磁力の連続観測を実施した。

「磁気図 2015.0 年値」を 2016 年 12 月 1 日に公表した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

宮崎隆幸，2016，過去の稠密重力データの日本重力基準網 2013 への整合手法の検討，日本地球惑星科学連合 2016 年大会予稿集（発表番号：SGD22-09）

高橋伸也・菅原安宏・矢萩智裕・阿部聡，2016，磁気図 2015.0 年値の作成（ポスター発表）第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）総会および講演会（2016 年秋学会）

高橋伸也・菅原安宏・矢萩智裕・阿部聡，2016，磁気図 2015.0 年値の公表，2016 年度 CA 研究会論文集

菅原安宏・高橋伸也・矢萩智裕，上嶋誠・小山崇夫，広帯域 MT 連続観測による短周期の電磁場観測に関する研究（ポスター発表），平成 28 年度 CA 研究会

（10）平成 29 年度実施計画の概要：

南海・東南海トラフ沿いにおいて絶対重力観測を実施し、日本重力基準網の基準となる重力値を得るとともに重力値の時間的な変化を把握する。

測地観測所及び全国の地磁気連続観測点で地磁気連続観測を実施し、日本全国の地磁気の時間変化及び地理的分布を把握する。さらに、富士山中腹において、全磁力の連続観測を実施する。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

測地部 物理測地課

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL：http://www.gsi.go.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢来博司

所属：地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

宇宙測地技術による地殻変動監視

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

合成開口レーダーを利用した SAR 干渉解析により、日本全国の地殻変動を面的かつ高精度に監視し、火山活動や地震によって生じた地殻変動を把握する。また、地震発生の可能性の高い地域において、地殻変動分布を明らかにする。

GNSS 連続観測により、日本周辺のプレートの広域的な運動及びアジア太平洋地域の地殻変動を把握する。また、国際 VLBI 事業に参加して国際共同観測を定常的に実施することで、地殻変動やプレート運動監視の基準となる ITRF 座標系の構築等に貢献する。

国連地球規模の地理空間情報管理に関するアジア太平洋地域委員会 (UN-GGIM-AP) の下で実施される GNSS キャンペーン観測に参加し、地殻変動監視の基準となるアジア太平洋地域の基準座標系

(APREF) の構築に貢献する。また、APREF 構築のために、アジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測に関する事業に参画する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

陸域観測技術衛星 2 号 (ALOS-2) 等を利用し、干渉 SAR 時系列解析など最新の SAR 干渉解析手法により全国の地殻変動を高精度に捉える。活動的な火山地域、地震発生の高いプレート境界沿いやひずみ集中帯の地域において、地殻変動の面的分布を高精度に把握する。地震に伴う災害発生時は、緊急的な SAR 干渉解析を実施し、その結果を迅速に提供することにより、災害復旧・復興に資する。

アジア太平洋地域において、次世代の VLBI 仕様に準拠した、アジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測への石岡測地局の参画並びに、同地域における GNSS 連続観測を安定的に実施することにより、プレートの広域的な運動及びアジア太平洋地域の地殻変動を高精度に把握するために必要な基準座標系の構築に貢献する。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費および災害情報整備推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

だいち 2 号の SAR データを用いて北方四島を含む国土全域を対象に SAR 干渉解析を行い、平成 28 年熊本地震をはじめ複数の地震において変動を検出した。平成 28 年熊本地震では、地震前後のデータを解析した結果、地殻変動が布田川断層帯と日奈久断層帯を中心に広域に及んでいる (図 1)。2 方向からの解析結果を組み合わせた解析により、断層帯の北側では沈降、東向きの変動、南側では隆起、西向きの変動であることが分かった。SAR 干渉解析の結果に加え、GNSS 観測で得られた結果に基づき、震源断層モデルの推定を行った結果、二つの断層帯に沿った位置に震源断層が求まった (図 2)。10 月 21 日に発生した鳥取県中部の地震でも、異なる 4 方向から観測した地震前後のデータを解析し、地震に伴う地殻変動を検出した。更に 4 つの解析結果を組み合わせて、水平成分と上下成分を求めた。上下成分は、震央の北東及び南西で隆起、北西及び南東で沈降、水平成分は、震央の北東で北東向き、北西で南東向き、南西で南西向き、南東で北西向きに変動したことが分かった。これらの結果は、政府の地震調査委員会に報告され、地震活動の評価に活用された。

VLBI は、つくば局及び石岡局を用いて国際 VLBI 事業 (IVS) の観測計画に添って毎週 1 回程度の割合で国際観測を実施した。また、両局を用いてアジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測 (AOV 観測) を実施した。得られたデータを解析し、つくば局の位置の変化を求めた (図 3)。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Kobayashi, T. (2017), Earthquake rupture properties of the 2016 Kumamoto earthquake foreshocks (Mj 6.5 and Mj 6.4) revealed by conventional and multiple-aperture InSAR, *Earth Planets Space*, 69: 7, doi: 10.1186/s40623-016-0594-y.

Fujiwara, S., H. Yurai, T. Kobayashi, Y. Morishita, T. Nakano, B. Miyahara, H. Nakai, Y. Miura, H. Ueshiba, Y. Kakiage and H. Une (2016), Small-displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, *Earth Planets Space*, 68: 160, doi: 10.1186/s40623-016-0534-x.

Morishita, Y., T. Kobayashi, and H. Yurai, 2016, Three-dimensional deformation mapping of a dike intrusion event in Sakurajima in 2015 by exploiting the right- and left-looking ALOS-2 InSAR, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL068293.

Miyahara, B., Y. Miura, Y. Kakiage, H. Ueshiba, M. Honda, H. Nakai, T. I. Yamashita, Y. Morishita, T. Kobayashi and H. Yurai, 2016, Detection of Ground Surface Deformation Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake by InSAR using ALOS-2 Data, *Bulletin of the GSI*, Vol. 64.

小林知勝, 2016, 数値気象モデルを用いた干渉 SAR の大気遅延誤差の低減効果について ~ 2015 年桜

島マグマ貫入イベントの解析を例に～，測地学会誌，62，79-88．

藤原智・矢来博司・小林知勝・森下遊・中埜貴元・宇根寛・宮原伐折羅・仲井博之・三浦優司・上芝晴香・攪上泰亮，だいち2号干渉 SAR による熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出，国土地理院時報，128，印刷中．

矢来博司・小林知勝・森下遊・山田晋也・三浦優司・和田弘人・仲井博之・山中雅之・攪上泰亮・上芝晴香，2016，だいち2号の干渉 SAR による火山活動モニタリング，写真測量とリモートセンシング，Vol.55, No.1，6-11．

矢来博司・小林知勝・森下遊・藤原智・三浦優司・宮原伐折羅・SAR 解析グループ，2016，だいち2号の干渉 SAR による熊本地震の地殻変動の把握，写真測量とリモートセンシング，Vol.55, No.3，166-167．

三浦優司・宮原伐折羅・藤原智・矢来博司・小林知勝・森下遊・仲井博之・本田昌樹・上芝晴香・攪上泰亮，2016，だいち2号を活用した地震に伴う地殻変動の把握 - 地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの取組 - ，写真測量とリモートセンシング，Vol.55 No.3，178-182.

三浦優司，2016「だいち2号」を利用した宇宙からの地震・火山での地殻変動の把握，つくばサイエンス・アカデミー会報，No.30，16-17.

上芝晴香・三浦優司・宮原伐折羅・仲井博之・本田昌樹・攪上泰亮・山下達也・矢来博司・小林知勝・森下遊，2016，だいち2号 SAR 干渉解析による熊本地震に伴う地殻変動の検出，国土地理院時報，128，印刷中.

矢来博司・小林知勝・森下遊・藤原智・檜山洋平・川元智司・上芝晴香・三浦優司・宮原伐折羅，2016，熊本地震に伴う地殻変動から推定された震源断層モデル，国土地理院時報，128，印刷中.

石本正芳・梅井迪子・若杉貴浩・川畑亮二・豊田友夫・宮原伐折羅・福? 順洋，2016，Status on the Ishioka Geodetic Observing Station (石岡測地観測局の現状について) ，Technology Development Center News，No.36，9-12．

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

だいち2号で観測した SAR データをもとに、日本全国の SAR 干渉解析を定期的を実施し、国内すべての活火山、地震発生の高いプレート境界沿いやひずみ集中帯の地域の地盤変動を監視する。また、地震や火山活動に伴う災害の発生が予想される場合には、緊急的な SAR 干渉解析を実施する。VLBI は、石岡局を用いて国際 VLBI 事業 (IVS) の観測計画に添った観測及びアジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測 (AOV 観測) を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

測地部 宇宙測地課
地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss@ml.mlit.go.jp
URL：http://www.gsi.go.jp

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：矢来博司
所属：地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

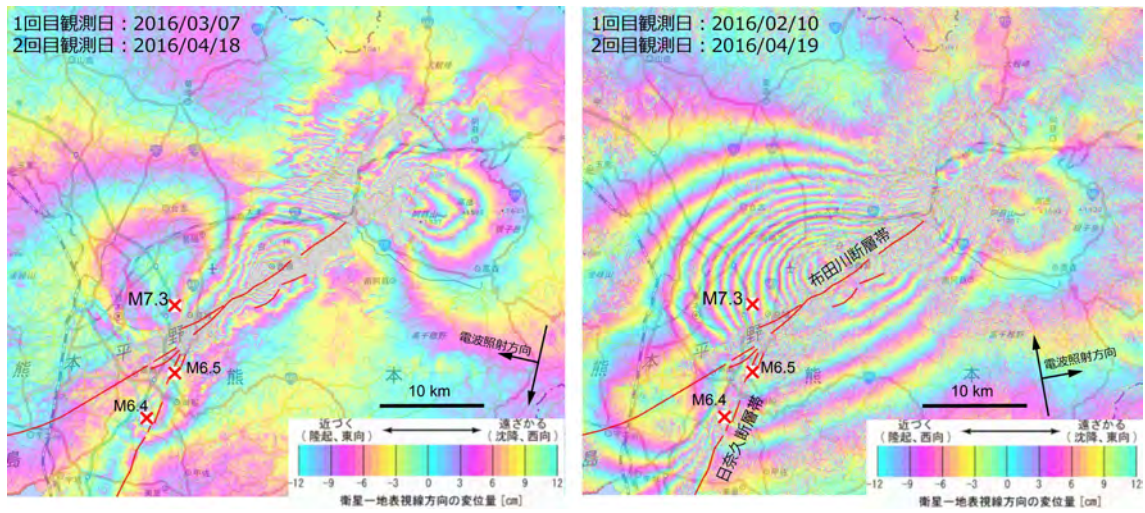


図1 SAR干渉解析で捉えた平成28年熊本地震に伴う地殻変動

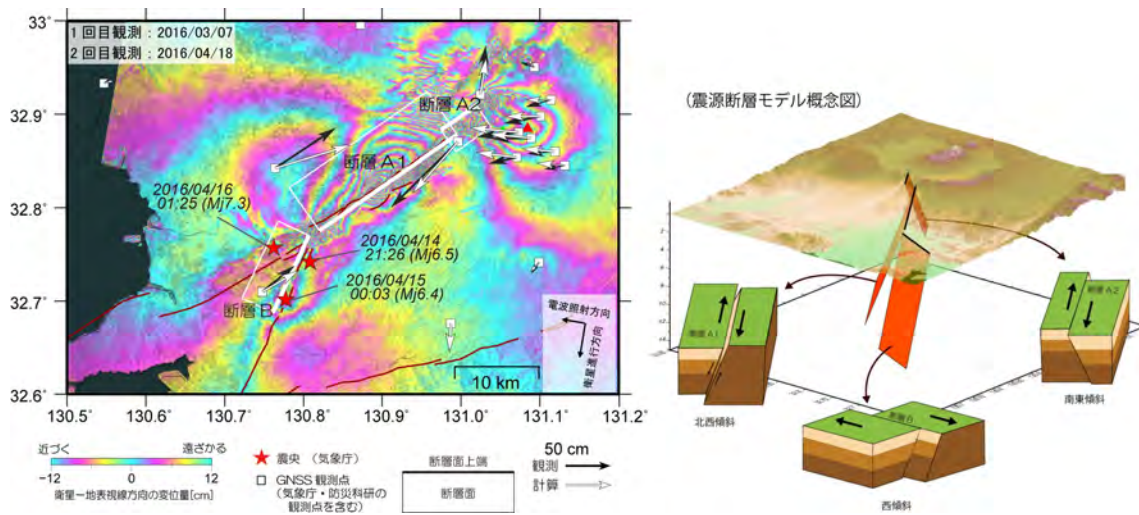


図2 SAR干渉解析とGNSS観測から推定された震源断層モデル

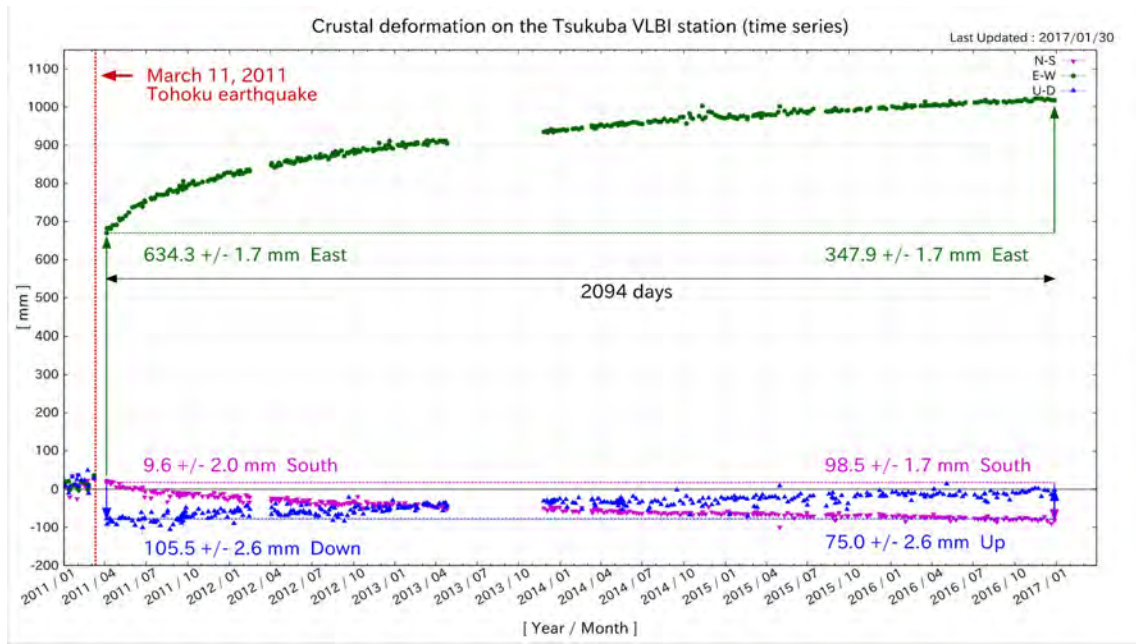


図3 平成23年東北地方太平洋沖地震前後のつくば VLBI 観測局の位置の変化

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山基本図・火山土地条件図整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山防災のために監視・観測体制の充実等の必要がある 47 火山について火山基本図及び火山土地条件図を作成するとともに、それらの数値データ化を進める。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費により火山防災地形データとして整備・提供するものである。

平成 26 年度においては、「秋田駒ヶ岳」の火山土地条件調査を実施する。

平成 27～30 年においては、毎年度、1 火山を対象に火山土地条件調査を実施し、火山土地条件図数値データを整備・提供予定。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 27 年度に調査を実施した火山土地条件図「秋田焼山」の数値データの整備及び「鳥海山(北部)」の火山土地条件調査を実施した。

火山基本図「秋田焼山」「焼岳」「桜島」「八丈島」「新島」の数値データを整備した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

火山土地条件図「鳥海山北部」の数値データの整備及び「鳥海山南部」の火山土地条件調査を実施予定。

「弥陀ヶ原」ほか 3 火山を対象に火山基本図の整備を予定。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

応用地理部 防災地理課

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

都市圏活断層図整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

都市周辺の主要な活断層について、位置・地形等のデータベースの充実を図る。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費により主要な活断層について、断層の詳細な位置、関連する地形の分布等の情報を整備・提供するものである。

平成 26 年度においては、砺波平野断層帯、三峠・京都西山断層帯、山崎断層帯、雲仙断層群、人吉盆地南縁断層帯、5 断層帯を 1:25,000 都市圏活断層図として整備。

平成 27～30 年においては、毎年度、3 断層帯を調査する予定。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 27 年度に調査を実施した、森本・富樫断層帯とその周辺「鶴来」、綾瀬川断層とその周辺「鴻巣」、那岐山断層帯(山崎断層帯)とその周辺「津山東部」、菊川断層帯とその周辺「下関北部」「宇部」5 面の都市圏活断層図を整備・公開及び、屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯、鈴鹿西縁断層帯、別府・万年山断層帯、布田川・日奈久断層帯の調査を実施した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

岡田篤正(2016): 1:25,000 都市圏活断層図那岐山断層帯(山崎断層帯)とその周辺「津山東部」解説書・国土地理院技術資料 D1-No.754, 21p.

楮原京子・堤浩之(2016): 1:25,000 都市圏活断層図 菊川断層帯とその周辺「下関北部」「宇部」解説書・国土地理院技術資料 D1-No.755, 16p.

熊原康博 (2016): 1:25,000 都市圏活断層図 綾瀬川断層とその周辺「鴻巣」解説書 . 国土地理院技術資料 D1-No.753 , 10p .

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度に調査を実施した、屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯、鈴鹿西縁断層帯、別府 - 万年山断層帯、布田川・日奈久断層帯の都市圏活断層図を整備・公開及び糸魚川 - 静岡構造線断層帯、濃尾断層帯ほかの調査を実施予定。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

応用地理部 防災地理課

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻活動データベース整備・更新

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

GNSS データクリアリングハウスに登録されている GNSS 連続観測局の所在変更が生じた場合、あるいは、GNSS 連続観測局が追加された場合には、データベースを随時更新する。さらに、現在公開している国土地理院と海上保安庁以外の機関が管理する GNSS 連続観測データの所在情報についても整備を進める。

地殻活動総合解析システムの維持及びデータベースの更新を行う。水準測量、GNSS(GEONET)、潮位観測データにおいては、年度毎に観測結果を追加するとともに、これらの原データの管理部署で進められているエラーデータの排除や観測の再解析結果を反映し、データベースを最新の状態に保つ。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26～30 年度において、メタデータの更新を適宜実施するとともに、対象を他機関の GPS 連続観測点にも広げることにより、より一層の環境整備を進める。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(電子基準点課)

平成 26～30 年度において、上記の到達目標を実現するため、各年度ごとにシステムの維持及びデータベースの更新を行う。また、システムのユーザーインターフェース改良等を平行して実施する。外部公開用の CD-R 媒体を作成し、希望者に配布する。

以上は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費に基づいた計画である。

(地殻変動研究室)

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

国土地理院及び海上保安庁が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報を、引き続き国土地理院のホームページから公開した (<http://datahouse1.gsi.go.jp/>)。所在情報検索システムの利便性を向上させるため、同システムの更新を行った。

(電子基準点課)

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

国土地理院及び海上保安庁が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報を整備し、引き続き国土地理院のホームページから引き続き公開する。

(電子基準点課)

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

測地観測センター 電子基準点課
地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

GNSS 観測・解析技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

- ・電子基準点観測データの誤差特性を総合的に分析する手法を開発する。
- ・GNSS 解析技術を高度化した上で、過去の地震や火山活動に関して高時間分解能の地殻変動情報を抽出する技術を開発する。
- ・リアルタイム GNSS 解析の安定化、高精度化を図る技術を開発する。

(宇宙測地研究室)

- ・GEONET リアルタイム解析システムについて、全国の電子基準点を対象として安定した運用ができるようシステムの構築を行う。

(電子基準点課)

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

- ・平成 26 年度において、電子基準点観測データの誤差特性を分析する技術の開発を行う。
- ・平成 26 年度～28 年度において、GNSS 解析技術を高度化した上で過去の地震や火山活動に関して高時間分解能の地殻変動情報を抽出する技術を開発する。
- ・平成 26 年度～29 年度においてリアルタイム GNSS 解析の技術を安定化、高精度化を図る技術を開発する。

(宇宙測地研究室)

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

- ・電子基準点の GNSS 化に伴う解析システムの改良を行うことで、より安定した測位結果の取得を図る。さらに、大規模地震発生時等に解析結果を迅速かつ確実に提供できるよう、システムの冗長化及び必要な改良を実施する。

(電子基準点課)

以上は、国土地理院地経費のうち理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

火山性地殻変動の力源について、粒子フィルタないしはアンサンブルカルマンフィルタにより、力源の状態変化(位置、形状、圧力等)を逐次推定するソフトウェアを作成した。また、リアルタイムキネマティック GNSS 時系列から火山性地殻変動の力源の状態変化を逐次推定するシステムを構築した。

(宇宙測地研究室)

GEONET リアルタイム解析システムにおけるリアルタイム GNSS 測位に用いる衛星系を、これまでの GPS のみから GPS 及び GLONASS を用いたマルチ GNSS へ拡張した。また、平成 28 年 4 月 16 日に発生した熊本地震(M7.3)において地震後 5 分程度で自動的に矩形断層モデルを推定することに成功した。さらに、4 月 14 日及び 15 日に発生した熊本地震の前震(M6.5、M6.4)、10 月 21 日に発生した鳥取県中部の地震(M6.6)、及び 11 月 22 日に発生した福島県沖を震源とする地震(M7.4)においてはリアルタイムで地震時変動を検出した。

(電子基準点課)

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Munekane, H., J. Oikawa, and T. Kobayashi (2016): Mechanisms of step-like tilt changes and very long period seismic signals during the 2000 Miyakejima eruption: Insights from Kinematic GPS, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2016JB012795.

川元智司・檜山洋平・古屋智秋・佐藤雄大・太田雄策・西村卓也・等々力賢, 2016, 電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)プロトタイプの開発, *国土地理院時報*, 128.

Kawamoto, S., B. Miyahara, Y. Hiyama, Y. Sato, T. Furuya, Y. Ohta, T. Noshimura, and M. Todoriki, 2016, Real-time GNSS positioning system REGARD for rapid earthquake moment estimates, *Proceedings of FIG 2016*.

Kawamoto, S., Y. Hiyama, Y. Ohta, and T. Nishimura, 2016, First result from the GEONET real-time analysis system (REGARD): the case of the 2016 Kumamoto Earthquakes, *Earth, Planets and Space*, 68, 190.

Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miyagawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, *J. Geophys. Res.*, in press.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

- ・精密単独測位法によるリアルタイム GNSS 解析を行うシステムを構築する。
- ・火山性地殻変動の逐次推定ソフトウェアについて、実データへの適用を行う。

(宇宙測地研究室)

・平成 26～28 年度までの成果をもとに、GEONET リアルタイム解析システムの高精度化に向けた電子基準点毎の誤差要因の分析及び誤差軽減のための手法を開発する。さらに、システムの安定運用に向けた調整を進める。

(電子基準点課)

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室

測地観測センター 電子基準点課

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学、気象庁気象研究所

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

SAR 観測・解析技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

・「だいち 2 号」等による衛星 SAR データを用いた地殻変動観測・解析技術の高度化を目指し、干渉 SAR 時系列解析に関する技術の開発・改良を進める。

・GNSS データを利用して SAR 干渉画像内に含まれる、電離圏の影響による誤差を低減する手法の開発を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

・平成 26 年度～30 年度において、干渉 SAR 時系列解析における主要な誤差要因である植生、大気、電離層の影響を、地表の散乱特性の時空間的共通性、数値気象モデル、電離層モデル等を用いて低減する技術の開発・改良を行い、微小な規模で進行する地殻変動の計測精度向上を図る。

(地殻変動研究室)

・平成 26 年度～27 年度において、電子基準点の観測データを利用して SAR 干渉画像内に含まれる、電離圏の影響による誤差を低減する手法を開発する。

(宇宙測地研究室)

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

干渉 SAR 時系列解析を GUI 操作で行うソフトウェアの改造を実施し、GNSS 電離層モデルを用いて干渉画像内の誤差を低減する機能等を実装した。また、山間部から高精度の画素を抽出する位相最適化処理の計算プログラムを、サイズ可変の計算ウィンドウに対応した並列計算を可能とさせることで高速化した。

2016 年熊本地震を撮像した ALOS-2 データに、MAI (Multiple Aperture Interferometry) 法を適用することにより、標準的な SAR 干渉解析では得られない衛星進行方向 (準南北成分) の地震時変位を抽出することに成功した。

(地殻変動研究室)

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

小林知勝、2017、干渉 SAR 時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究 (第 3 年次)、国土地理院調査研究年報 (平成 28 年度) (印刷中)

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

干渉 SAR 時系列解析のソフトウェアの改造を引き続き実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室、宇宙測地研究室

他機関との共同研究の有無 : 有

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

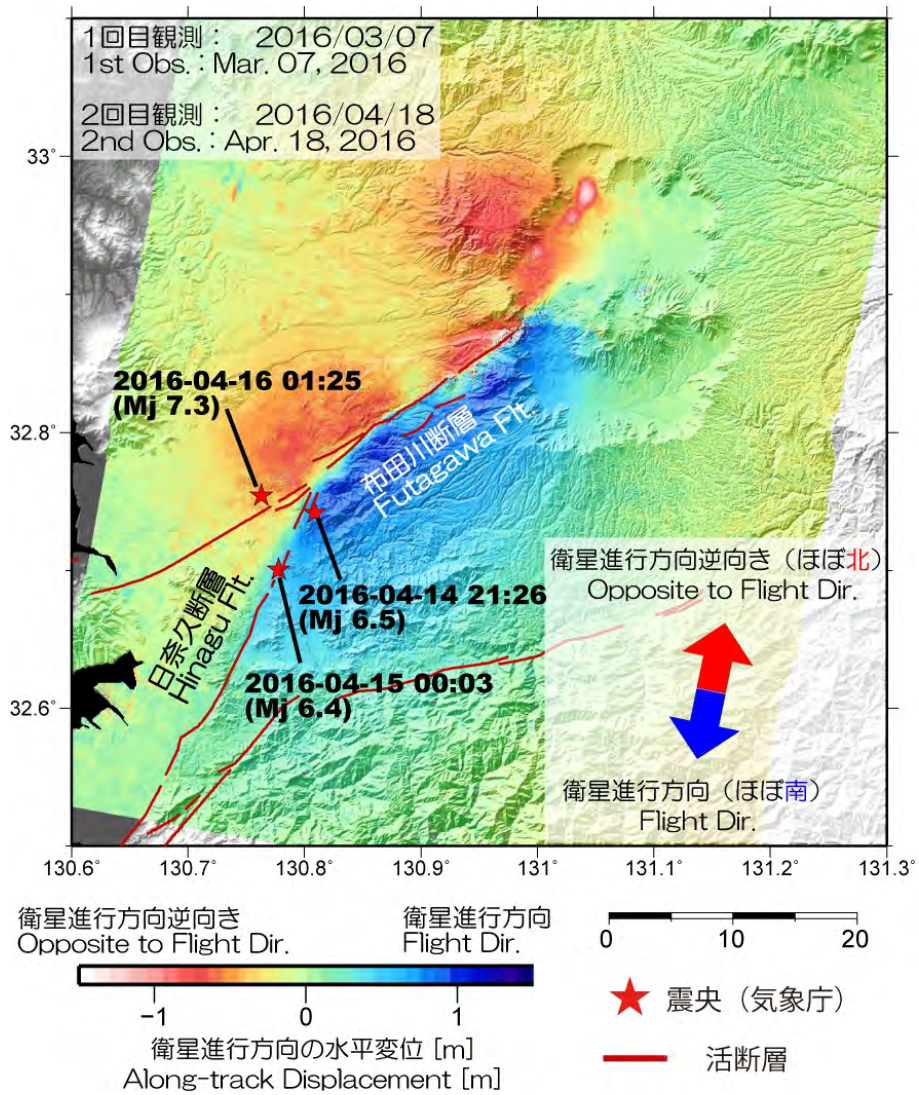


図1 MAI法により捉えられた準南北方向の地表変位

青色の領域は衛星進行方向(ほぼ南)の水平変動を、赤色の領域は衛星進行方向と逆向きの水平変動(ほぼ北)を示す。

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山現象に関する基礎データの蓄積と活用

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

全国の活火山について，大学や防災科学技術研究所等関係機関の協力の下，火山噴火予知連絡会で中長期的な火山監視体制の強化が必要とされた 47 火山については常時観測データの収集を行い，それ以外の火山については現地調査等必要に応じて観測データを収集して，火山現象のデータベースとしてその蓄積を図る．

これらの成果は，噴火警報等の防災情報の発表や火山活動解説資料の作成に利用するとともに，地震火山月報(カタログ編)や火山年報で取りまとめて公表する．これにより，火山噴火，前兆現象の国際的データファイルの更新にも寄与する．

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた 47 火山について，全国 4 か所の火山監視・情報センターにおいて，地震計，空振計，GNSS 等の観測データを常時収集し，解析を行い，蓄積する．

全国の火山について，地震観測，GNSS 繰り返し観測，熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し，蓄積する．

火山活動に異常が観測された場合には，緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し，蓄積する．

これらのデータの蓄積にあたって，今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化する．

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、地震火山月報(カタログ編)や火山年報等により HP により公表する。また、火山活動の概況を英文でとりまとめて HP により公表する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた 47 火山(平成 28 年 12 月に 3 火山追加して 50 火山)について、全国 4 か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS 等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積した。

全国の火山について、地震観測、GNSS 繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積した。

平成 28 年度に噴火が発生した阿蘇山及び桜島のほか、火山活動の高まりがみられた霧島山(えびの高原周辺(硫黄山))及び薩摩硫黄島において、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、蓄積した。

これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化した。各種監視・観測で得られた成果は、HP で速報的に公開するとともに、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、地震火山月報(カタログ編)や火山年報等により HP により公表した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

地震火山月報(防災編)2016 年 3 月号～2017 年 2 月号(予定含む)

地震火山月報(カタログ編)2014 年 2 月号～8 月号(予定含む)

年間の日本の主な火山活動(2016 年)

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた 50 火山について、全国 4 か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS 等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積する。

全国の火山について、地震観測、GNSS 繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、蓄積する。

これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化する。各種監視・観測で得られた成果は、HP で速報的に公開するとともに、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、火山月報(カタログ編)や火山年報等により HP により公表する。また、火山活動の概況を英文でとりまとめて HP により公表する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部・札幌管区气象台・仙台管区气象台・福岡管区气象台火山監視・警報センター
他機関との共同研究の有無：有

(監視に関するデータ提供機関)

大学、防災科学研究所等の研究機関、自治体、地方整備局等の火山観測実施機関

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-3212-8341(内線：4514)

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 中村 政道

所属 : 気象庁地震火山部火山課火山監視・情報センター

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

自己浮上式海底地震計観測による宮城県沖の地震活動

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

想定宮城県沖地震の震源域及びその周辺において自己浮上式海底地震計による地震観測を行い、その海域で発生している地震活動を詳細に把握するとともに、精度の高い震源分布を求める。また、震源決定手法の改良・高度化も行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

宮城県沖において 4 か月(2 か月 2 回) 程度の自己浮上式海底地震計による地震観測を実施し、地震データを蓄積するとともに、検測・解析処理を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度は、5 月と 10 月の海洋気象観測船の航海で、14 台の海底地震計、7 台の海底水圧計を設置し、30 台の海底地震計、5 台の海底水圧計を回収した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：とくになし。

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 29 年度も引き続き、宮城県沖での自己浮上式海底地震計による地震観測を実施する予定である。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁

他機関との共同研究の有無：有

東北大学

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長
電話：03-3212-8341（内線：4514）
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：http://www.jma.go.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中村 浩二

所属：気象庁地震火山部管理課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動観測による火山活動評価・予測の高度化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻変動データが得られる活動的な火山において、火山活動の異常検出のために地殻変動観測データ等のモニタリング手法を高度化するとともに、地殻変動源のモデル化とシミュレーションによりマグマ蓄積・挙動の推定手法を高度化する。

噴火に至る多様な地震活動や地殻変動などについて過去事例の整理・解析を通して、事例の少ない火山も含め火山活動の推移の想定を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

伊豆大島等の活動的な火山における GPS、光波測距、傾斜、ひずみ、重力等の各種地殻変動データや地震活動データ、および合成開口レーダー (SAR) データの取得・収集を行い、火山における長期的および短期的な地殻変動の捕捉、解析を行う。また、観測データの S N 比の向上などによる異常検出手法の高度化や、高品位なひずみや傾斜、光波測距、GPS などの観測データを活用した火山活動のリアルタイム・モニタリング手法の高度化を行う。

マグマがどこに存在するか、マグマは周辺にどのような力学的影響を及ぼすかをより正確に把握できるように、力学的な地殻変動源モデルの設定・改良やマグマによる地殻変動・応力場のシミュレーションを通して、地殻変動によるマグマ蓄積状態の時間空間的な推定手法や地震活動、地殻変動によるマグマの挙動の推定手法の高度化を図る。

マグマの移動・上昇など噴火に伴う活動様式は多様であることから、複数の代表的な活動ケースについて、マグマの移動・上昇に伴う地震活動と地殻変動の多様性・共通性を過去事例等で整理・解析する。また、その結果に基づいて、マグマの状況や火道の形態等から噴火に至る地震活動や地殻変動の推移を想定し、確率的な噴火シナリオの作成に貢献する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

火山活動モニタリング手法の高度化およびマグマ活動の推定

[伊豆大島等における地殻変動観測と解析]

2013 年に伊豆大島南西部に設置したボアホール型多成分ひずみ計について、その後データの蓄積が進んだことから、各成分の中長期的な挙動を調べるために、近隣の GNSS データなどから推定した対応するひずみ成分との比較を行った。その結果、ひずみ成分によっては、中長期的な地殻変動の把握にも活用できるとの見通しをえた。

伊豆大島において、GNSS、光波測距による地殻変動観測を引き続き行った。伊豆大島の GNSS 観測により得られた地殻変動データを長期的変動、短期的変動それぞれに対応したマグマ溜まりがあることを想定して解析を進めた。その結果、長期的変動の体積変化量が、2012 年頃に急増したことがわかった。

伊豆大島で実施している繰り返し重力観測についてデータを取りまとめ、全島スケールで生じている重力変化が天水浸透によると考えられること、このデータから山体の浸透率を推定できる可能性があることを明らかにした。さらに、測定点の高さ変化に伴う重力変化の定量化にむけて鉛直勾配の測定を開始した。

御嶽山において繰り返し GNSS 観測を実施し、2014 年噴火後、地獄谷火口を中心に山体が収縮している地殻変動を確認した。圧力源の深さはごく浅く、体積変化量は - 38 万 m^3 と見積もられた。

草津白根山において光波測距の繰り返し観測を実施し、2014 年から観測されていた草津白根山湯釜火口付近は、2015 年 7 月頃から収縮に転じたことを確認した。2016 年 9 月までの湯釜北東部の浅部の圧力源の体積変化量は - 4.8 万 m^3 と見積もられた。

[衛星 SAR による火山性地殻変動の検出と火山監視手法の高度化]

SAR 衛星 ALOS-2 のデータを用いた解析により、全国の活火山周辺の地殻変動検出を行った。特に、新潟焼山、吾妻山、御嶽山、三宅島、雲仙岳、霧島山新燃岳、霧島山えびの高原、西之島において火山活動に伴う地殻変動を面的な分布として検出した。また、西之島については、低相関領域や陸域面積の時系列変化や火口南東部に検出された局所的な地殻変動から圧力源(減圧)の推定を計算した。新潟焼山及び御嶽山については、GNSS データ及び MaGCAP-V を用いて推定した圧力源と干渉 SAR 解析結果との比較を行い、概ね一致していることを明らかにした。

[活動的火山等における研究]

新潟焼山の GNSS データから得られた地殻変動記録の解析を行った。新潟焼山付近を通り、距離の異なる基線のデータから、圧力源の推定を行った。その結果、新潟焼山近辺の地下約 5km に球状圧力源を仮定することで、GNSS データを説明できることがわかった。

アゾレス諸島の Fogo 火山において GNSS による地殻変動データの精密解析を行った。プレート運動等の非火山性成分を分離することで、火山性の変動源(増圧及び減圧)を推定し、水蒸気噴火の温床である浅部熱水系の特徴を明らかにした。また、同手法を適用して、東北地方の火山における火山活動評価手法の高精度化をめざす研究を進めている。

境界要素法による火山性地殻変動の解析プログラムの開発を進めた。また、北海道十勝岳で 2015 年 5 - 7 月に衛星 SAR で観測された局所的な地殻変動やイタリア・ストロンボリ火山の傾斜変動データの

解析に用いて、火山の地下浅部の圧力源を求めた。

[モニタリング手法の高度化]

モニタリング手法の高度化のひとつとして、傾斜計の降水補正への取り組みを進めている。御嶽山田の原の傾斜計の融雪の影響の除去について新潟大学・京都大学・信州大学と共同で取り組み、融雪の始まりのタイミングについては、近隣のアメダスの気温データで把握できることを明らかにした。また、国内の火山総合観測点の傾斜計について積雪及び融雪との関連を調査し、一部の観測点で融雪時期ではなく消雪時期に影響が現れることがあることを明らかにした。

火山活動の推移想定に関する研究

噴火警戒レベルの判定基準の根拠を明示して公表するために気象庁が進めている精査作業に技術的な協力をしている。各火山監視・警報センターと協力して、過去のデータを改めて精査し、注目すべき現象の整理、判定基準のできるだけの具体化、および必要な見直しを進めている。平成 27 年度に公表した浅間山、御嶽山、桜島に引き続き、伊豆大島、三宅島、箱根山、阿蘇山等で作業を進めた。阿蘇山については、過去データの再精査を行うとともに、2014 年からの噴火活動、特に 2016 年 10 月の爆発的噴火の先駆現象を整理して基準に具体的に反映させ、12 月に公表した。

西之島の海底地震計データを解析し、2015 年 6 月～10 月に地震活動度が顕著に低下し、その他の衛星データ等で認められた活動度と整合していることを確認した。また、データから火山性地震の震源決定を行い、PS 変換波を用いた堆積層補正を施し、エンベロープ相関法により震源を推定した。

- (9)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Miyaoka, K., and A. Takagi, 2016, Detection of crustal deformation prior to the 2014 Mt. Ontake eruption by the stacking method. *Earth, Planets and Space*, **68**:60.
- Takagi, A. and S. Onizawa, 2016, Shallow pressure sources associated with the 2007 and 2014 phreatic eruptions of Mt. Ontake, Japan. *Earth, Planets and Space*, **68**:135.
- 山里平, 石原和弘, 2016, 火山防災・減災の仕組みと防災情報. *地盤工学会誌*, **703**, 76-83.
- 山里平, 2016, 火山噴火 - そのメカニズムと減災. *気象年鑑* 2016 年版, 1-23.
- 山里平, 2016, 噴火警戒レベル. *地質と調査*, **145**, 54-57.
- 安藤忍, SAR 干渉解析による噴火前後の地殻変動, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).
- 木村一洋, 降水補正を行った田の原傾斜計東西成分の噴火前後の変動, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).
- 宮岡一樹, GNSS スタッキングによる噴火前の地殻変動検出, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).
- 長岡優, 噴火前後における火山性地震のスペクトルの特徴, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).
- 小木曾仁, 御嶽山の噴火前後の火山性微動の震源推定, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).
- 高木朗充, 傾斜変動と GNSS 観測による御嶽山の浅部圧力源, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).
- 安藤忍, だいち 2 号により観測された西之島の山体変形, 気象研究所技術報告(2013-2015 年西之島噴火のモニタリングに関する研究)(編集中).
- 高木朗充, 長岡優, 西之島の海底地震観測, 気象研究所技術報告(2013-2015 年西之島噴火のモニタリングに関する研究)(編集中).
- 気象研究所[高山博之], 伊豆大島の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 123(印刷中).
- 気象研究所・気象庁[高山博之, 高木朗充, 山本哲也, 鬼澤真也, 平山康夫], 伊豆大島の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 125(印刷中).

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

火山活動モニタリング手法の高度化およびマグマ活動の推定

・伊豆大島において GPS、光波測距、多成分ひずみ、重力の稠密地殻変動観測を行う。浅間山等において GPS 観測等を行う。

・伊豆大島をはじめとする全国の火山を対象として、気象庁総合観測点データの収集を行い、GPS、傾斜データなど地殻変動のデータの解析を行う。

・伊豆大島の地殻変動データの解析において、圧力源推定の精度・時間分解能の向上を図るとともに、地下のマグマの状態・挙動の推定を行う。

・SAR のデータによる地殻変動解析を行う。また、SAR 等電磁波を用いた地殻変動観測データについて数値気象モデルを用いた補正手法の改良を進める。

・地殻変動が観測された活動的火山について地下の圧力源モデルを推定する。

・水蒸気噴火のポテンシャルが高い火山として、草津白根山で光波測距の観測を行う。

火山活動の推移想定に関する研究

・地殻変動、地震活動、表面現象異常事例についての内外火山についての事例を収集する。また、地殻変動や地震活動等の比較検討を行う。火山現象の定量的・確率的な側面を考慮した火山活動シナリオの作成に取り組む。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象研究所火山研究部

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象研究所企画室

電話 : 029-853-8536

e-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL : <http://www.mri-jma.go.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 山本 哲也

所属 : 気象研究所火山研究部第 1 研究室

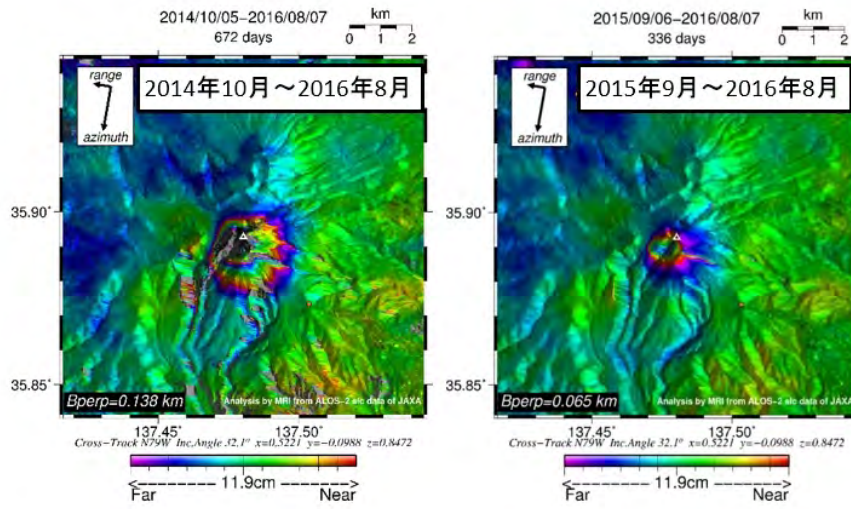


図1. ALOS-2 データを用いた御嶽山における SAR 干渉解析結果

(左) 2014 年 10 月～2016 年 8 月、(右) 2015 年 9 月～2016 年 8 月。御嶽山では、2014 年噴火後、山頂付近において衛星視線方向伸張（沈降に対応）の変化が検出されている。その変化量及び範囲は時間経過とともに徐々に小さくなっている。

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山活動監視・評価の高度化に資するため，全国の火山の地殻変動観測およびデータについて，監視項目の評価と適正化の検討、地殻変動検出のためのノイズ低減に向けた検討を進めるとともに，地殻変動検出時の変動源推定等の解析と結果の噴火予知連絡会等への報告を行う。これらを進めるにあたり，データ解析技術や活動評価等について職員の能力向上に配慮する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

気象庁では常時監視火山をはじめとする活火山において傾斜計や GNSS 等の地殻変動観測装置を整備しデータを取得するとともに，関係協力機関から提供を受けたデータを用いて全国の火山活動の監視を行っている。これら監視データにより地殻変動の検出を試みるとともに，活動の活発化に伴い地殻変動が検出された際には，これらのデータを使用し，適宜，変動源推定等の解析を行い，火山噴火予知連絡会等に報告する。また，観測データをより有効に活用し，監視・評価手法を改善していくために以下の検討，技術の高度化を進める。

- ・ GNSS 等の異常検知力調査およびこれに則った監視項目の評価、適正化の検討
- ・ 傾斜データ等のノイズ低減によるデータ高品位化のための検討
- ・ ALOS-2 に対応した SAR データ解析環境の構築と地殻変動検出の試み

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

【衛星解析グループ】

火山噴火予知連絡会衛星解析グループ(WG)の事務局としてWG活動の運営に当たり、「だいち2号(ALOS-2)」による観測要望や解析結果のとりまとめを行った。本年度は，シナリオ基本観測以

外に、噴火警報の発表や火山活動の活発化に伴い2火山（阿蘇山、霧島山）において緊急観測要望を行った他、2013年からの噴火活動が収まった西之島についてもスポットライトモードにて高頻度な観測を要望を行い、JAXAにより観測が実施された。これらのデータを用いた解析結果は、WGメンバーにより適宜、火山噴火予知連絡会へ報告され、活動評価に用いられた。

【傾斜データ等のノイズ軽減】

今年8月に運用を開始する火山監視・情報センターシステムにおいて、傾斜データの降水の影響を軽減する降水補正ロジックを導入する目処がついた。

【GNSS】

今年8月に運用を開始する火山監視・情報センターシステムへの導入を目指して、国土地理院からの助言や気象研究所の協力を得ながらGNSSデータの解析方法の見直しを検討・調査し、現在の解析方法よりも高品位化が実現できる目処がついた。

【SAR解析】

気象庁本庁において、SARデータの解析環境の再構築を行い、職員誰もがSAR解析を可能な環境が整った。国内全ての活火山を対象に、火山活動監視を目的として気象研究所とともにだいち2号（ALOS-2）のSAR解析を行った。

(9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
火山噴火予知連絡会衛星解析グループ「火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究」平成28年度成果報告書（平成29年3月発行予定）

(10) 平成29年度実施計画の概要：

平成29年度にも引き続き以下を実施する。

1) 地殻変動観測による監視・評価

常時監視火山をはじめとする全国の活火山において傾斜計、GNSS、SAR等の地殻変動観測データにより火山活動の監視、変動の検出を行う。顕著な変動を検出した際には、変動源推定等も含めた解析を行うと共に、他観測データと併せて活動評価に資する。

2) 技術的検討

地殻変動観測データの質的検討を行うと共に、ノイズ低減によるデータ高品位化のための検討を進める。また、本年度打ち上げられたALOS-2に対応したSARデータ解析環境を構築し、それらのデータでの地殻変動検出の試みを進める。

3) 成果の公表

得られた成果は、火山噴火予知連絡会における火山活動評価、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、適宜、学会等において発表を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部・札幌管区气象台・仙台管区气象台・福岡管区气象台火山監視・警報センター
他機関との共同研究の有無：有

国土地理院、宇宙航空研究開発機構、大学、研究機関、自治体等の火山観測実施機関

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-3212-8341（内線：4514）

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：http://www.jma.go.jp

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：木村 一洋

所属：気象庁地震火山部火山課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地球電磁気学的手法による火山活動監視の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

雌阿寒岳、草津白根山など熱水活動の活発な火山において全磁力連続観測および繰り返し観測を継続的に実施し、火山活動との対応を調査する。全磁力連続データから火山活動に伴う変動を準リアルタイムに抽出することを目指し、補正手法の高度化、異常検知手法の確立を進める。観測点による外部擾乱の影響量の違いを把握するため補足的観測を実施し、火山活動に伴う変動の検知能力の向上を図る。その他、MT 法による比抵抗構造探査を実施し、熱水貯留層の構造などを把握する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

より高度な火山活動監視の実現を目指すため、特に水蒸気爆発型の噴火を起こす火山について重点的に調査を行う。平成 26 年度は雌阿寒岳を重点的に調査するため、全磁力連続観測点を 1 点増設し 3 観測点態勢とし、熱源の推定能力の向上を図る。さらに、雌阿寒岳において MT 法による比抵抗構造探査を実施し、全磁力から推定される熱消磁域と比抵抗構造との関連性について理解を深める。平成 27 年度以降も引き続き雌阿寒岳、草津白根山などにおいて全磁力の連続観測、繰り返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。その他、全磁力データの処理技術開発として外部磁場擾乱の補正手法の改良を進め、全磁力による火山監視技術の高度化を図る。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、三宅島、阿蘇山において全磁力連続観測および繰り返し観測を実施し、火山地下の熱的活動を推定すると共に、火山活動との対応関係を調査した。雌阿寒岳では 2015 年 3 月から 2016 年 4 月にかけて熱消磁とみられる全磁力変化が観測された。この熱消磁のソースについては、2016 年 6 月に実施した全磁力繰り返し観測の解析結果、ポンマチネシリ 96-1 火口南斜面の地下約 500 m、半径 107 m と求められた。また、2014 年 9 月以降雌阿寒岳の全磁力連続観測点が 3 点体制になったことから、この熱消磁の発生位置の時間的変動についてもある程度推定することが可能となった。2013 年と 2014 年に雌阿寒岳で実施した A MT 構造探査についてはさらに解析を進め、比抵抗構造と帯磁・消磁の位置および震源分布との対応関係について詳細に調査した。草津白根山で

は、2014年5月から6月にかけて湯釜地下で小規模な熱消磁が発生したとみられる全磁力変化が観測され、噴火警戒レベルが2に引き上げられたが、それ以降の全磁力はあまり変化しておらず、熱的な平衡状態を保っていると考えられる。その他、気象庁地震火山部が水蒸気噴火の予知を目的として平成27年度～28年度に行った樽前山、吾妻山、御嶽山、霧島山、九重山における全磁力観測装置の整備事業に協力し、観測点の地点選定のための磁気測量やデータ解析等を行った。

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
火山噴火予知連絡会会報第123号(雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島)
火山噴火予知連絡会会報第124号(雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島)
火山噴火予知連絡会会報第125号(雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島)
山崎明・西田誠・井智史・平原秀行・中橋正樹，気象庁の活火山への全磁力観測点の整備，JpGU2016，幕張メッセ国際会議場，2016年5月
山崎明・中橋正樹・仙台管区気象台地域火山監視・警報センター，吾妻山大穴火口周辺における全磁力観測，日本火山学会2016年度秋季大会，富士吉田市民会館，2016年10月
高橋幸祐・高倉伸一・松島喜雄・藤井郁子，全磁力およびAMT観測から推定される雌阿寒岳浅部の火山活動，日本火山学会2016年度秋季大会，富士吉田市民会館，2016年10月
山崎明・中橋正樹・角村悟，樽前山・吾妻山・御嶽山・霧島山における全磁力観測，平成28年度 Conductivity Anomaly 研究会，京都大学防災研究所，2017年1月

- (10) 平成29年度実施計画の概要：

より高度な火山活動監視の実現を目指すため、特に水蒸気噴火を起こす火山について重点的に調査を行う。この目的のもとに引き続き雌阿寒岳、草津白根山などにおいて全磁力の連続観測、繰り返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。また、全磁力データの処理技術開発として外部磁場擾乱の補正手法の改良を進め、全磁力による火山監視技術の高度化を図る。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：無

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：http://www.kakioka-jma.go.jp

- (13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：山崎明

所属：気象庁地磁気観測所技術課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震活動や地殻変動について、新たな評価手法や監視技術等を導入することにより、より微小な変化を逐次的にとらえる技術を開発する。また、地震発生シミュレーションを通じて、地震・地殻活動の変化と大地震発生との関係に関する評価手法の改善を図る。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

これまで地震発生前の変化が報告されている地震活動に関する指標を逐次的に解析する手法を構築する。長期的な地殻変動の把握を行うとともに、これまでよりも微小な地殻変動を検出できる技術を開発する。地殻変動解析で得られた知見などを地震サイクルシミュレーションモデルに取り込むとともに、前駆すべりの多様性を表現できる大地震発生モデルの構築を目指す。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

・中国地方を領域固定した GEONET の F3 解座標値を用い、フィリピン海プレートの沈み込み逆方向の成分について、南海トラフのプレート等深線 25km 沿いに並べた地点を中心とする一定範囲内の平均を求め、1 年の傾斜期間を持つランプ関数との相関を取ることで、南海トラフ沿いの長期的ゆっくりすべりの客観的な時空間分布を得る手法を開発した。

・ひずみ計データのスタッキング解析を行い、2013 年から継続している東海地域の長期的ゆっくりすべりのモーメント解放の時間変化を求めた。

・GNSS 日値の解析から、2014 年半ばから紀伊水道において長期的ゆっくりすべりが発生していること、時間とともにすべりの中心が東に移動していることを明らかにした。

- ・干渉 SAR 時系列解析により、室戸岬周辺の面的な地殻変動を解析した。
- ・東海大学と共同で、駿河湾における海底地震計観測を継続した。
- ・京都大学と共同で、南海トラフ軸付近の海底水圧計の回収および設置を行った。
- ・海域における GPS から推定されたすべり欠損や重力異常分布等を考慮した摩擦パラメータを与えたり、プレート収束速度を見直したりして試行錯誤的に南海トラフの数値モデルの改良を進めた。
- ・2016年4月に紀伊半島南東沖で発生したような M6 クラスの地震が南海トラフ巨大地震に与える影響について数値モデルを用いて調査した。
- ・繰り返し中規模地震について、相関係数とコヒーレンスを用いて、2016年4月から12月までに8個の相似地震の発生を確認した。事前に2016年2月1日を予測日として、1系列3個以上ある相似地震の系列を対象に、ベイズ統計対数正規分布モデルを用いた長期的確率予測をおこなっている。今後1年以内の発生確率予測の成績(拡張ブライアスコア)は0.028で、予測と結果の合致性は良いことを確認した。
- ・2016年熊本地震が発生した地域について、この地域の過去の前震活動の統計的解析から、本震発生予測に効率的な前震候補抽出のパラメータを求めた。その結果、そのパラメータの条件を満たす地震が発生した場合、より大きな M5 以上の地震が発生する割合は約 7% (=3/43)、本震前に前震が現れる割合は約 31% (=4/13) であることなどを明らかにした。
- ・東北地方太平洋沖地震の余効変動について GNSS 日値を再調査し、新たなパラメータで余効変動を除去したデータを作成した。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- 小林昭夫・弘瀬冬樹, 2016, 千葉県北部の地震活動と同期した非地震性すべり, 地震, 69, 1-9.
 - 気象研究所, 2016, 海溝と直交する方向の全国の基線長変化, 地震予知連絡会会報, 96, 30-36.
 - 気象研究所, 2016, 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 96, 333-336.
 - 弘瀬冬樹・前田憲二・藤田健一, 2016, 三重県南東沖の地震(2016年4月1日, M6.5)による南海トラフ大地震に対する影響, 地震予知連絡会会報, 96, 311-316.
 - 田中昌之・岡田正実, 2016, 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率(2016), 地震予知連絡会会報, 96, 456-461.
 - 前田憲二・弘瀬冬樹, 2016, 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法: 最近の活動事例による検証, 地震予知連絡会会報, 96, 476-480.
 - 気象庁・気象研究所, 2016, 平成 28 年(2016年)熊本地震, 地震予知連絡会会報, 96, 492-556.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

- ・地震活動の変化を表すパラメータの定常的変化解析手法を構築する。
- ・気象庁デジタル加速度記録から、随時繰り返し相似地震の発生を調査する。新たに確認した相似地震は、当該相似地震の発生間隔データを用いて、ベイズ統計対数正規分布モデルなどの予測モデルで長期的発生確率予測を行い、次地震発生時に予測結果を比較して、最良なモデルを検討する。
- ・スタッキング手法によるすべり量の推定結果の評価を行う。
- ・日本海溝について、数値モデルで地震発生間隔や発生域の再現を試みる。また、より細かなメッシュを用いるため、計算高速化のための処理手法について検討する。
- ・干渉 SAR の気象補正方法の開発及び改良を行う。
- ・地殻変動データを用いたスロースリップの客観的検出手法の改良を行う。
- ・東海大学・京都大学と共同で、海底地震計・海底水圧計観測を行う。
- ・南海トラフ地域について、過去の巨大地震の破壊域や発生間隔に加え、近年観測されたすべり欠損を再現するよう数値モデルの改良を進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象研究所地震津波研究部
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象研究所企画室

電話：029-853-8552

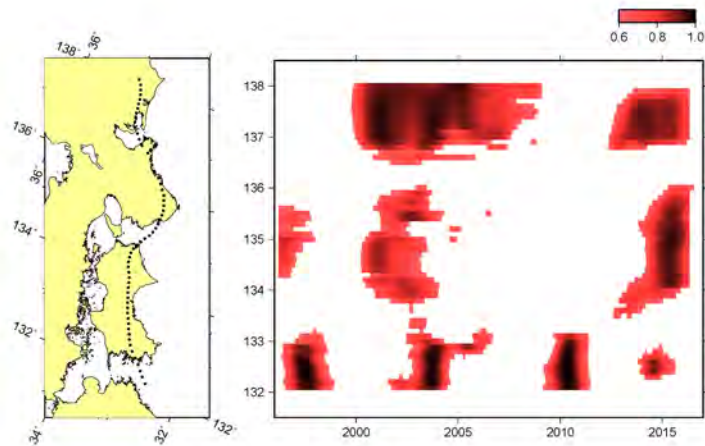
e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小林昭夫

所属：気象研究所地震津波研究部



南海トラフ沿い長期的ゆっくりすべりの検出

相関値の時空間分布（期間1年、相関係数0.6以上、変化+2mm以上）

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

陸上電磁場観測における津波生成磁場の検知

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

近年、津波が電磁場を誘導すること(津波ダイナモ効果)が海洋底や離島での観測から明らかとなった。海洋底や離島では津波ダイナモ効果を検出しやすいが、理論的には陸上の磁場観測においても検知可能と考えられる。観測が比較的簡単にできる陸上で津波ダイナモ効果による磁場を津波到達前に検知できれば、巨大地震発生時の大津波警報に資する可能性がある。本課題では、さまざまな原因による地球磁場変化から津波生成磁場を効果的に検出することを目指し、理論と観測の両面から検討を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題では海岸付近に磁場観測点を一点設置し、もう一点を海岸から数 10km 離れた内陸に設置する。この 2 点で磁場のベクトル観測を行い、2 点間の差ベクトル磁場を求める。外部磁場変化は数 10km の距離ではほぼ同じと考えることができるので、差ベクトル磁場を求めることにより、外部磁場変化を取り除き、海岸付近に生じる津波生成磁場を検出することが期待できる。具体的には海岸付近の観測点として既設の国土地理院の室戸地磁気観測点を利用する。また、内陸の観測点として人工的なノイズレベルの低い高知県馬路村に地磁気 4 成分観測点を設置し、馬路観測点を基準点として、室戸観測点に含まれる津波生成磁場の検知可能性を検討する。

その他、津波ダイナモ効果について過去の事例解析等を行い、津波ダイナモ効果の性質の解明を目指す。

なお、本課題で実施する高知県での観測は科学研究費補助金・挑戦的萌芽研究「陸上地磁気三成分データを用いた津波ダイナモ効果の検出」(H25-26)に基づいた計画である。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

津波生成磁場を陸上の磁場観測で検知することを目的として、高知県馬路村土川地区において地磁気観測を行っている。2014 年 1 月には 3 成分フラックスゲート磁力計を設置、2014 年 6 月には全磁力観測装置を設置し観測を開始した。3 成分観測については、2014 年 7 月の台風の影響による停電などのため長期間欠測していたが、2015 年 6 月に復旧させた。その後 2016 年 9 月に再び故障し、それ

以降は欠測となっている。全磁力観測については2015年11月以降、測器不調となっている。津波生成磁場は室戸観測点（国土地理院）と馬路観測点の磁場のベクトル差によって検出可能と考えられるが、馬路観測点での観測開始以降、津波の発生はなく、津波生成磁場検出の例はまだない。室戸観測点と馬路観測点の磁場のベクトル差を求めると、Z成分で差の変化が大きかった。これは室戸観測点が半島の先端に位置しており、外部磁場変化に伴い海水中に誘導された電流が半島を避けて流れることによるいわゆる半島効果で説明できることがわかった。

2011年東北地方太平洋沖地震では父島において地磁気Z成分に津波起源と考えられる1nT程度の明瞭な磁場変動が観測された。そこで2006年11月15日千島列島東方の地震（Mw8.3）による津波の例についても調査した。その結果、父島観測点において津波到達の20分前からZ成分に0.2～0.3nT程度の微弱な磁場変化が観測されていることがわかった。さらに、津波生成磁場の数値シミュレーションを用いて観測結果と比較したところ、観測結果をほぼ説明できることが確かめられた。ここで、津波の計算では海水の圧縮性まで考慮された線形ブシネスク支配方程式を用いた。

（9）平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
なし

（10）平成29年度実施計画の概要：

高知県馬路村での地磁気観測を復旧させる予定である。得られた地磁気データと国土地理院の室戸観測点との磁場のベクトル差を求め、津波生成磁場の検出可能性について調査する。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：有

京都大学理学研究科（藤浩明）

京都大学防災研究所（吉村令慧）

国土地理院（阿部聡）

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：http://www.kakioka-jma.go.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山崎 明

所属：気象庁地磁気観測所技術課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震動の即時予測において、より迅速性・堅牢性を向上させるとともに、広い震源域をもつ巨大地震の場合や、広域に複数の地震が連発する場合であっても、震度の適切な即時予測が可能となる手法を構築する。

また、震度(比較的短周期)の即時予測に加え、長周期まで(おおよそ 10 秒程度まで)の様々な揺れの即時予測に対応できるように拡張・強化する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

従来の地震動即時予測は、震源とマグニチュードの早期決定のみに焦点を当てるアプローチが多かったが、本課題では、観測網からリアルタイムで得られる揺れの実況値を用いる点が特徴である。これにより、(震度だけではなく)長周期地震動を含めた波形での予測が可能となる。

多点観測網のデータを有効に活用する手法を検討する。観測網からリアルタイムで得られる震度分布の実況値にデータ同化を適用し、時間発展的な波動伝播の計算により未来予測を行い、逐次予測精度を上げていくモデルを導入する。また、震源やマグニチュードが未推定の状態でも、実況値から予測可能な手法をめざす。このことにより迅速性・堅牢性の向上を図る。

さらに、本計画では、上記の震度の即時予測に加えて、長周期地震動まで含む様々な周期での地震動即時予測が行えるように手法を拡張する。それらをリアルタイムで適用できるように計算手法の工夫を図る。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

・平成 28 年(2016 年)熊本地震(M6.5, 7.3)等で観測された実波形データに適用し、散乱・減衰構造の導入を行うなど予測モデルの改良を行った。その結果、一様構造を用いた場合と比べて、遠い未来においても、正確な構造モデルを用いれば予測震度が概ね震度差 1 以内に収まる精度で行えることを確認した。また、現在業務への導入が検討されている PLUM 法(本研究課題の手法の簡易版に相当する。伝播方向や距離減衰が入っていない簡易手法のため 10 秒以上遠い未来の予測には向かない)を熊本地震(M6.5, 7.3)のデータに適用したところ、複数地震同時発生時にも安定した予測を行うこと、さらに、気象庁津波地震早期検知網(全国で約 270 観測点)に気象庁震度観測網(約 400 点)を加える効果などにより、おおよそ 2~4 秒早めることができること、を確認した。

・従来手法における正確なマグニチュード推定のため、海底地震計の筐体の回転など強震入力時の挙動の解析を進めた（回転がおこると、加速度波形のゼロ点がずれ、変位波形に変換すると見かけ上の大振幅が現れる）。H27年度までの解析で、上下動成分には筐体の回転の影響が比較的現れにくいこと、また、地盤の増幅特性の地域性が（水平動に比べて）比較的小さいこと、が分かったので、H28年度は、この知見を実データに適用しながら、精度の良いマグニチュード推定の解析を進めた。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
Ogiso, M., S. Aoki and M. Hoshiya, 2016, Real-time seismic intensity prediction using frequency-dependent site amplification factors, Earth, Planets and Space, 68:83, DOI: 10.1186/s40623-016-0467-4.
Kodera, Y., J. Saitou, N. Hayashimoto, S. Adachi, M. Morimoto, Y. Nishimae, and M. Hoshiya, 2016, Earthquake Early Warning for the 2016 Kumamoto Earthquake: Performance Evaluation of the Current System and the Next-Generation Methods of the Japan Meteorological Agency, Earth, Planets and Space, 68:202, DOI: 10.1186/s40623-016-0567-1.

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要：

実データへの適用を進め、未解決の問題を検討するとともに、減衰構造や速度構造の精緻化により予測モデルの構築を進める。得られた地盤増幅特性（観測点補正值）に対して応用を図り、新たに展開されつつある海域観測網からのデータの有効な活用方策を探る。また、震度予測の迅速化と精度向上を狙って、観測面（アレイ処理技術の改良を目指した構内での観測、など）および計算面（計算速度の向上、より現実に近い仮定での計算、など）の両面からのアプローチを引き続き行い、それぞれの手法の改良を進める。また、長周期でも適用可能なように調整し、実データへの適用行い、改良を進める。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁気象研究所地震津波第 3 研究室
他機関との共同研究の有無：無

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象庁気象研究所企画室
電話：029-853-8536
e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp
URL：http://www.mri-jma.go.jp/

- (13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：干場 充之
所属：気象庁気象研究所地震津波研究部第 3 研究室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

・巨大地震の断層のおよその広がりを地震発生直後 2～3 分以内に把握する手法を開発する．断層の滑りの大きさや方向の解析について，信頼性向上を図る．余震の震源分布を地震発生後 10～20 分以内に把握するための震源決定手法を開発する．断層の大まかな滑り分布を震発生後 10～20 分で求める手法を開発する．

・観測地震データと断層上の滑り分布推定結果に基づいて，さまざまな周波数帯の地震動分布を地震発生後 10～20 分後に推定する手法を開発する．

・津波地震や海底地すべりの発生を検知し、津波予測に用いるための規模等を推定するための手法を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

・地震動の振幅分布を用いて巨大地震の断層のおよその広がりを地震発生直後 2～3 分以内に把握する手法を開発する．

・巨大地震の震源分布を地震発生後 10～20 分以内に自動処理により把握するため，振幅など多面的な情報に基づき地震識別を行える手法を開発する．

・地震波形や GNSS データを用いて，断層の大まかな滑り分布を震発生後 10～20 分で求める手法を開発する．

- ・巨大地震発生直後の10～20分後を目途に、さまざまな周期帯の地震動分布を推定する手法を開発する。
- ・地震波の短周期成分と長周期成分の信号の特徴から津波地震の判定を行い、津波予測に用いるための長周期成分のみを用いた震源決定と規模推定を行う手法を開発する。また、海底地すべりについては、津波発生ポテンシャルについて評価する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

- ・単独観測点からの地震の規模を推定する手法について、2014年及び2015年にチリ国において発生したM8を超える地震へ適用し、手法の有効性を確認した。
 - ・2016年4月に気象庁業務として運用開始した自動震源決定手法(PF法)の改良を行い、震源出力条件の見直し、複数の地震が発生した場合には振幅の大きいイベントから処理を行うこと、及び走時残差が大きな相を削除する等の改良を行った。その結果、島嶼部及び地震多発時における震源決定性能を向上させた。さらに、ベイズ推定における事前確率を改良することにより、解の収束速度を向上させることが可能か検討を行った。
 - ・波形相関を用いた自動震源の識別手法を開発し、目視によらず地震とノイズの識別を行えるか検討を行った。
 - ・解析結果の公表までに時間を要していた遠地実体波震源過程解析の迅速化のため、自動解析プログラムを改良し、サンプリング間隔・基底関数の数等を最適化し、比較的短い処理時間で安定して解が得られるようにした。
 - ・地震直後に地震の規模や断層の広がり等を推定する手法として、国土地理院との共同研究としてGNSSデータ1Hzサンプリングデータを用いた震源断層解析手法の開発を継続して実施し、2003年十勝沖地震に適用し手法の有効性を確認した。
 - ・1998年7月にパプアニューギニアにおいてMw7.0の地震の後に発生した海底地すべりよるとみられる津波源について地震計により検知可能かどうか検討し、M7クラスの地震後まもなく起きたこのような場合は検知が困難であるという結果を得た。
 - ・山体崩壊による津波について、海底での土砂の移動によって海面に生じる水位変化を即時的に得る方法の検討として、理想的な海底地すべりによる予測式を1741年渡島大島へ適用し、文献による観測値との違いや、適用の際のパラメータの考察を行った。
- 以上の通り、研究は計画通り進展している。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- 中田健嗣・小林昭夫・平田賢治・対馬弘晃・山崎 明・勝間田明男・前田憲二・馬場久紀・一ノ瀬里美・牛田 堯・石原昂典・稲村嘉津也・蓮澤 豪, 2017: 自己浮上式海底地震計観測によって推定された紀伊半島南方の南海トラフ軸南側の地震活動. 地震, 69, 59-68.
気象庁, 気象研究所, 2016: 平成 28 年(2016年)熊本地震. 地震予知連絡会会報, 96, 492-556.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

- ・自動震源決定手法の問題点の調査を行い、手法の改善を行う。
- ・遠地実体波震源過程解析の自動解析手法を近地強震波形震源過程解析にも適用し、近地強震波形震源過程解析の迅速化及び自動化の開発を行う。
- ・スロー地震について地震波形の特徴について事例解析を進めるとともに、規模推定手法の開発を行う。
- ・山体崩壊による津波の再現計算を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

- 気象庁気象研究所地震津波研究部
他機関との共同研究の有無 : 有

国土地理院

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象研究所企画室

電話：029-853-8536

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：勝間田明男

所属：気象庁気象研究所地震津波研究部

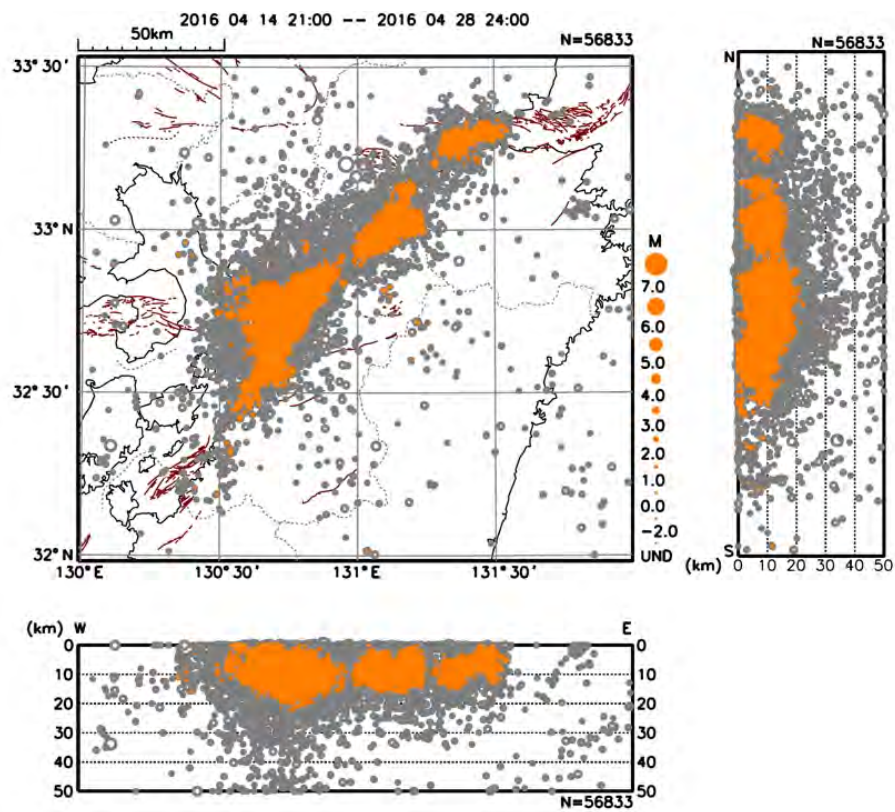


図1 相関が高かった震源の分布

自動決定されている震源の中から、目視確認されている地震と波形相関の高い地震を選ぶことによって、比較的信頼性の高い震源分布を得ることができる。

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

気象レーダー等リモートセンシング手法や震動観測等を活用した噴火現象の即時的な把握技術を開発するとともに、噴煙柱及び移流拡散モデルを活用した火山灰等の高精度な予測技術を開発する。さらに、観測値と予測値に基づく火山噴出物データ同化・予測システムを構築し、即時的に把握した噴火現象から高精度な火山灰等の拡散予測を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

活動的な火山である桜島等を対象として、気象レーダーにより噴煙のエコー強度やマルチパラメータ等を観測し、噴煙状態等を速やかに把握する手法を検討するとともに、火山灰検出技術の開発や噴出する火山灰・礫の量や挙動を定量的に推定するための研究を行う。また、次期気象衛星で観測される火山灰雲のマルチチャンネルデータ等を、噴火検知や噴煙の高さ、広がり等の噴火規模の即時的な推定に活用するための研究を行う。また、噴火発生直後の地震、空振、地殻変動及び監視カメラによる爆発映像等からも即時的に噴火規模等を把握する手法を検討するとともに、火山岩塊等、防災上重要な火山現象に対する予測技術の高度化を行う。

気象レーダー・衛星等のリモートセンシング観測データの解析結果に基づき、気象庁非静力学モデル等により噴煙 - 降灰過程の動力学的側面を明らかにし、噴煙柱モデルの改良に資する知見を得る。改良した噴煙柱モデルを初期値に用いて、移流拡散モデルによる火山灰や礫の落下範囲や落下量を即

時のかつ高精度に予測するための技術研究を行う。これらモデルを組み合わせ、火山噴出物に対する観測データの解析から予測までを一貫して実行できるデータ同化・予測システムの構築を目指す。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

・レーダーによる噴煙観測データの解析

2016 年 3 月 26 日桜島(昭和火口)噴火(噴煙の高さ:火口縁上 2,700m)に伴う噴煙について、Ku バンド高速スキャンレーダーによる観測データの初期解析を行い、噴煙の 3 次元構造及び観測サイトにおける天頂方向のドップラー速度分布を得ることが出来た。この観測データは、世界で初めて、約 1 分毎に火山噴煙の詳細な 3 次元構造を捉えたものである。その後も、Ku バンド高速スキャンレーダーを用いた事例データの取得に複数成功している。

X バンド MP レーダーについても噴煙の観測を行い、複数の事例について、噴煙の二重偏波パラメータの取得に成功し、初期解析を行った。初期解析の結果、噴煙内部の二重偏波パラメータの空間的・時間的構造の定性的な変化傾向を掴むことが出来た。

2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火に伴う噴煙の高さについて、気象研究所で開発した気象レーダーを用いた噴煙高度の確率的推定手法を用いて解析を行った結果、海拔 $12,000 \pm 687$ m (1) となり、合成レーダーによるエコー頂高度である海拔約 15,000m を良く補正している。

・気象レーダー観測網の検知高度分解能調査および噴出量推定の検討

気象庁レーダー観測網による日本国内における火山噴火噴煙の検知能力、各火山・高度別の検知時間間隔や高度分解能について調査し、小規模な噴火が検知困難な火山や、大規模噴火の検知高度分解能について明らかにした。

近年、発生した火山噴火(浅間山 2009 年、霧島山新燃岳 2011 年、御嶽山 2014 年、口永良部島 2015 年、阿蘇山 2016 年噴火)について気象庁レーダー観測網で観測されたエコー頂高度の時間変化より、噴出物総量を推定し、野外調査から求められている噴出物総量と比較した。両者は概ね一致し、気象レーダーにより噴出物総量を推測できることを示した。

・衛星データを用いた西之島溶岩流の時間変化調査

LANDSAT 8 号などの地球観測衛星の近赤外画像から西之島の溶岩流の流下方向の時間変化を調査し、溶岩は時間とともに反時計回りにその流下方向を変化させていたことが分かった。この原因は、溶岩流出によって地形の高まりが生じ、その方向には溶岩が流出しにくくなることが一因と推測できた。

・衛星データ利用をふくめた火山灰データ同化システムの開発

火山灰データ同化システムの開発を進め、傘型噴煙の実事例で動作確認を行った。観測値には、地震研究所の噴煙ダイナミクスモデルによる 2014 年 2 月のケルト火山噴火の計算結果を代用し、レーダー観測の限界高度による観測感度が得られる可能性を示した。

火山灰データ同化システムの開発を進め、気象衛星センターで開発中のひまわり 8 号による火山灰プロダクトを観測値としてデータ同化システムで利用する手法の開発を進めた。2015 年 5 月の口永良部噴火の事例において、風の鉛直シアを考慮することによって、火山灰プロダクトから、火山灰雲の厚さを見積もる可能性ができることを示した。

・降灰予測シミュレーションの実事例との比較検討

2016 年 7 月 26 日桜島(昭和火口)噴火(噴煙の高さ:火口縁上 5000m)に伴う降灰予報について検証を行った。総噴出量を降灰調査の結果に基づき、噴煙の高さが同じであった 2013 年 8 月 18 日噴火の 1/10 に設定して再計算した結果、予想降灰域は大きく変化しないが、予報過多であった予想降灰量は改善することを示した。

2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火に伴う降灰予報について、噴煙高度を気象レーダー・衛星で解析された海拔 11km から 14km まで変えて再計算を行った。降灰の観測あり/なしに対するカテゴリ検証の結果、海拔 13km 付近の噴煙高度を供給源とした場合が降灰分布をもっとも再現することを示した。しかし遠地の予想降灰量は過多の傾向であり、移流拡散モデルで考慮していない凝集の影響が示唆された。

降灰予報で使用している領域移流拡散モデル本体について、次世代非静力学モデル(asuca)である気象庁局地モデルのモデル面 GPV を直接入力できるように改修し、従来の非静力学モデル(NHM)互換 GPV を入力した場合と同等の予測結果が得られることを確認した。あわせて気象庁局地解析も入力できるように拡張した。

御嶽山の大規模噴火を想定した降灰シミュレーションを試行した結果、2014年1年間の気象場を仮定した場合、南西象限(名古屋市)に降灰がある確率は年間2.5%程度と推測された。

富士山の大規模噴火を想定した降灰シミュレーション結果を、防災科学技術研究所の火山リスクマネジメントシステム(VRMS)へ入力できるように準備を進めている。

・火山ガス移流拡散シミュレーション

水平解像度200mのNHMを用いて御嶽山2014年噴火に伴う火山ガス移流拡散シミュレーションを行った。日中の混合層発達による火山ガス分布の変化等、高解像度実験によって火山ガスの動態を詳細に解析できる可能性を示した。

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

新堀敏基, 2016: 火山灰輸送：モデルと予測. 火山, 61, 399-427.

佐藤英一, 2017: Kuバンド高速スキャンレーダーによる降水コアの観測と気象レーダーを用いた火山噴煙の観測計画について, 気象研究ノート「気象レーダー60年の歩みと将来展望」(印刷中)

高木朗充, 長岡優, 福井敬一, 安藤忍, 木村一洋, 土山博昭, 2013-2015年西之島噴火のモニタリングに関する研究、気象研究所技術報告(印刷中)

(10)平成29年度実施計画の概要：

・可搬型レーダー(XバンドMPレーダーおよびKuバンド高速スキャンレーダー)と二次元ビデオディストロメーターなどによる桜島での噴煙観測を継続すると共に、これまで得られた事例の解析を行う。

・可搬型レーダーデータ、既存の気象レーダーデータから噴煙の立体構造や粒径、火山灰量を推定するための手法の開発を進め、観測データをデータ同化システムに渡すための一次解析データの作成を行う。

・ひまわり8号等の衛星観測データを収集し、火山灰雲のモデル化、火山活動の規模評価を進める。特に、ひまわり30秒観測データも利用し、噴火直後の噴煙の解析を試みる。

・気象レーダーや衛星などによる噴煙観測データを移流拡散モデルの初期値に利用するために、引き続き、火山灰データ同化システムの開発をすすめる。

・領域移流拡散モデルによる降灰量および降霰範囲の予測と実測された値とを比較検証しながら、予測値を改善するためのモデル改良を継続するとともに、高時間分解能モデル面GPVの移流拡散モデルでの利用を検討する。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象研究所火山研究部

他機関との共同研究の有無：有

鹿児島大学、京都大学防災研究所、防災科学技術研究所

(12)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象研究所企画室

電話：029-853-8536

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 徳本 哲男

所属 : 気象研究所火山研究部第二研究室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

津波の予測手法の高度化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

稠密な観測データを高度に活用し、津波成分を抽出する手法や現況を面的に把握する手法を開発する。波源推定に基づく予測手法の高度化および波源推定に基づかない新たな予測手法の開発を行う。

遠地津波の後続波および減衰特性のモデル化を行い、遠地津波の継続時間の予測を行うことにより津波警報解除の時期の予測手法を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

沖合における多点の水圧観測データから、津波伝播の状況をリアルタイムで高い空間分解能を持って面的に把握する技術を開発するため、高精度水圧計による実海域観測データや既存の沖合観測データの解析等に基づき津波以外の現象に伴う水圧変化の特性を明らかにし、リアルタイムに津波成分のみを抽出するための技術開発を行うとともに、観測点配置やデータの量および質などを考慮してデータ同化の手法等を用いて即時的に津波の伝播状況を面的に把握する手法を開発する。

これまでの研究成果である沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、大量の津波観測データに対しても安定して効率よく動作するようシステムを改良するなどの高度化を行う。また、津波の波高分布の時間発展をデータ同化の手法により逐次予測することにより、津波波源を推定しないで津波予測を行う新しい手法を開発し、精度の高い津波予測が行えるようにすることを目指す。

津波の減衰過程の予測のため、反射波や散乱波などの遠地津波を中心に後続波を精度よく再現できる計算手法を用い、様々な津波発生シナリオについて数値実験を行うことにより、後続波が第一波と同程度あるいは大きい振幅となる条件を経験的に見出すことを目指す。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

震源域内で観測されうる地震動・音波等の非津波成分に伴う圧力変動が津波予測精度に与える影響を、理論合成データを用いた数値実験により検証した。ローパスフィルタ適用後に残存する地震動に

伴う圧力変化の影響で、観測波形が短い地震発生直後は精度が低下するものの、時間が経過して観測データが増えると、精度低下は大幅に改善することを明らかにした。

沖合と海岸の観測点での津波高の関係について、沖合から海岸へと津波の高さが水深比の 1/4 乗に比例して増幅することが経験的に導かれていたが、2011 年東北地方太平洋沖地震津波で得られた観測値から、大津波まで含めると増幅率が水深の 1/5 乗に比例することを見いだした。

遠地津波の減衰過程だけではなく成長過程までを含めた全期間の振幅時間変化を説明するため、津波エネルギーの伝達過程を踏まえた考察に基づき、波源と二次波源（散乱源）伝播経路、観測点付近の効果の 3 つに区分して、それぞれの段階ごとに数理モデル化した。遠地津波の観測事例にこの数理モデルを適用して、減衰定数などのパラメータの推定を進めた。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

沖合観測データの解析等に基づき、特に地震時に記録される様々な不定型ノイズが津波成分抽出に与える影響を評価し、即時的に津波成分を抽出するための技術開発を行う。沖合における多点の水圧観測データから即時的に津波の伝播状況を面的に把握する手法について、特性化した津波波源モデルを用いた津波伝播計算によって作成した仮想津波観測データに適用する試行などを行い開発を進める。

沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、多点の沖合津波観測データの活用が、津波波源の時間歴の把握に有効であるかを検討し、必要に応じて手法の改良を行う。

遠地津波の後続波の出現タイミングや振幅の時間減衰傾向を再現可能な数値計算手法について、津波の成長過程を含めた全期間の振幅時間変化を説明できるよう構築した数理モデルを実際の観測事例と比較することにより各事例のモデルパラメータの推定を進め、波源海域ごとの特徴を整理する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象研究所企画室

電話：029-853-8536

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山本剛靖

所属：気象研究所地震津波研究部

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

緊急地震速報の高度化

長周期地震動情報の高度化

噴火警報の改善

降灰予報の改善

国際共同研究・国際協力

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

気象庁では、地震学、火山学の最新の研究成果や地方自治体、関係防災機関のニーズを踏まえ、地震や火山噴火の災害軽減に資するため、津波警報、緊急地震速報、長周期地震動情報、噴火警報や降灰予報について過去の経験を踏まえて高度化を進めてきた。

これらの情報内容の改善や高度化にかかる知見・成果については、広く大学等関係機関、防災関係機関に、気象防災情報として、また、各種情報の検討部会等を通じ、広く共有し、また、防災対応へ、各分野の研究の推進に活用されている。

また、火山噴火予知連絡会では、火山活動の評価結果を公表しており、一般の方にも理解しやすい表現を心がけている。

平成 26 年度においても、これまでの取り組みの成果、各種検討部会での議論の結果を踏まえ、継続的に取り組んでいく。平成 27 年度以降についても、引き続き成果の共有を続けていく。

また、国際共同研究・国際協力については国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び近隣国との地震観測データの交換などの組織的な連携・協力を通じて、また、航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業務や開発途上国における地震・火山の観測や津波警報の発表などの体制整備に必要な技術的な支援を通じて、国際的な研究活動の進展に寄与する。

（ 8 ）平成 28 年度の成果の概要：

気象庁から発表する地震・津波に関する防災情報の高度化を図るため以下の検討会等を開催し、報道発表等により広く情報共有を図った。

- ・緊急地震速報評価・改善検討会の開催
- ・長周期地震動に関する情報検討会の開催
- ・津波予測技術に関する勉強会の開催

また「平成 28 年熊本地震」を踏まえ、政府の地震調査委員会における「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」(平成 28 年 8 月 19 日報告書)に沿って、気象庁では近傍の活断層の存在にも留意しつつ、次のような内容の防災上の呼びかけを行うこととした。

・大地震の発生から 1 週間程度は、大きな地震が発生しやすく、過去事例や地域特性を考慮し、大地震と同程度の地震への注意を呼びかけることを基本とし、その間は地震発生状況を逐次公表する。

・大地震の発生から 1 週間後以降、上記に加え、地震活動の発生傾向から余震としての見通しに言及できる場合は、地震発生の可能性として「平常時の 倍」「(大地震発生後)当初の 1 / 」などの表現を用いる。

火山については、火山噴火予知連絡会の提言を踏まえ、どのような場合に噴火警報が発表されるか登山者等が認識できるよう、噴火警戒レベルの引き上げや引き下げの基準を精査し、精査の終わった火山より順次公表を始めた。また、日々の火山観測データについて平成 28 年 12 月 21 日より気象庁ホームページへの掲載を開始した。

（ 9 ）平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

（ 10 ）平成 29 年度実施計画の概要：

平成 29 年度も、引き続き、各種情報の利活用・高度化等のための検討を進める。

（ 11 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁及び全国気象官署職員

火山噴火予知連絡会事務局（気象庁地震火山部火山課）

他機関との共同研究の有無：有

様々な関係機関、専門家等と連携

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長
電話：03-3212-8341 (内線：4514)
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：http://www.jma.go.jp

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
氏名：高橋 賢一
所属：気象庁地震火山部管理課地震津波防災対策室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山活動の総合判断

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

防災関係機関の防災活動に資するため，引き続き全国の火山活動の状況について総合的な判断を実施する．特に噴火が近づいた火山や噴火中の火山について，最新の研究成果に基づき現在の状態から火山噴火や噴火終息に至るまでの過程についての噴火推移の予測を試みる．

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

年 3 回開催予定の火山噴火予知連絡会(定例会)において，全国の火山活動の総合的な評価を実施する．また，火山噴火発生等の異常時に開催する臨時の幹事会や連絡会(定例会，臨時会)において，火山噴火の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し，火山噴火予知連絡会統一見解等の判断結果については報道発表や気象庁の火山情報で公表する．

防災科学技術研究所等が新規に整備する観測施設など，監視に必要なデータについては，観測データの交換対象に追加する．

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

平成 28 年度は，第 135 回(平成 28 年 6 月 14 日)，第 136 回(平成 28 年 10 月 2 日)の 2 回の火山噴火予知連絡会定例会を開催し，全国の火山活動の状況についての検討を行った．検討結果は定例会終了後に報道発表し，気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で発表するとともに，気象庁のホームページでも公表した．なお，平成 28 年度第 3 回目となる第 137 回火山噴火予知連絡会定例会は平成 29 年 2 月 14 日に開催される予定である．

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので，平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

火山噴火予知連絡会会報 121～123号(予定)

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

年 3 回開催予定の火山噴火予知連絡会(定例会)において、全国の火山活動の総合的な評価を実施する。また、火山噴火発生等の異常時に開催する臨時の幹事会や連絡会(定例会、臨時会)において、火山噴火の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し、火山噴火予知連絡会統一見解等の判断結果については報道発表や気象庁の火山情報で公表する。

防災科学技術研究所等が新規に整備する観測施設など、監視に必要なデータについては、観測データの交換対象に追加する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

火山噴火予知連絡会事務局(気象庁地震火山部火山課)

他機関との共同研究の有無：有

火山噴火予知連絡会委員

(監視に関するデータ提供機関)

大学，研究機関，自治体，地方整備局等の火山観測実施機関

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-3212-8341(内線：4514)

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：http://www.jma.go.jp

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：宮村 淳一

所属：気象庁地震火山部火山課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震観測、地殻変動観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震観測、地殻変動観測の継続

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

津波警報や地震情報等を適切に発表するため全国に展開している地震計及び震度計，東海地域を中心に展開しているひずみ計などの観測を継続するとともに，文部科学省と協力して，大学，防災科学技術研究所など関係機関の地震観測データを合わせて一元的に処理し，その結果を大学，関係機関に提供する．

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

津波警報や地震情報等を適切に発表するため全国に展開している地震計及び震度計，東海地域を中心に展開しているひずみ計などの観測を継続するとともに，文部科学省と協力して，大学，防災科学技術研究所など関係機関の地震観測データを合わせて一元的に処理し，その結果を大学，関係機関に提供した．これらの地震観測データの一元的な処理に関して、平成 28 年 4 月より、大幅に自動処理を導入した処理方法の改善を行った。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

一元化処理結果(震源、検測値、発震機構解)，地震・火山月報(カタログ編)，地震・火山月報(防災編)，地震予知連絡会会報

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 29 年度も、引き続き観測を継続するとともに、処理結果を大学、関係機関等に提供する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話 : 03-3212-8341 (内線 : 4514)

e-mail : jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 中村 浩二

所属 : 気象庁地震火山部管理課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

潮位観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

潮位の連続観測を継続して実施する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

潮位データの伝送を高度化し，障害による欠測を減少させる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

観測された潮位データを気象庁に集約し，気象庁 HP 及び国土交通省防災情報提供センター HP で公開(5 分間隔で更新)している。また，気象庁の管理地点は，毎時潮位，月平均潮位(平年偏差)，津波，副振動等のデータも気象庁 HP で公開している。

平成 28 年度までに，気象庁の管理地点について，ランドライン障害時においても潮位データの伝送が行えるよう伝送の二重化(衛星回線によるバックアップ回線)，予備電源による稼働時間の長時間化(72 時間以上)，観測機器の雷災対策，ランドラインのデジタル回線化，離島地点の電源強化を行った。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

気象庁の管理地点のほとんどがランドラインにメタル回線を利用しており，平成 29 年度から光回線に順次変更し，ランドライン経由の雷サージによる障害及び欠測を減少させる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地球環境・海洋部海洋気象課，地震火山部

他機関との共同研究の有無：有

国土交通省(水管理・国土保全局，港湾局)、国土地理院、海上保安庁と連携した潮位データの一元化

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長
電話：03-3212-8341（内線：4514）
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：http://www.jma.go.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中舘 明

所属：気象庁地球環境・海洋部海洋気象課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地磁気精密観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本中央部、北日本、南西日本、日本南方の地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の 4 観測点において、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図りながら数十年～100 年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、大学等による地殻活動・火山活動を評価する電磁氣的観測研究のために、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。また、日本域の全磁力分布を解析するために、全国にわたる全磁力精密観測網を構築する観測点として、いわき、北浦、阿蘇山麓において、データ取得の安定性を図りながら精密連続観測を継続実施する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

日本における地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の 4 観測点において、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図りながら、地殻活動・火山活動を評価するために安定した地磁気観測を実施し、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。また、日本域の全磁力分布を解析するために、全国にわたる全磁力精密観測網を構築する観測点として、いわき、北浦、阿蘇山麓において、データ取得の安定性を図りながら精密連続観測を継続実施する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島での地磁気 4 成分観測、及びいわき、北浦での全磁力精密連続観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による電磁氣的観測研究あるいは幾つか提案されている日本域における標準的な全磁力磁場モデルの算出方法の検証・改良を進めるために、高精度の地磁気基準値を提供した。火山活動起源のシグナルを抽出するためには、「参照データとの差を求めて局所的な磁場変動だけを取り出す」という手法が用いられるが、地域によって変化の大きさ、傾向が異なるため、地域毎の基準値観測が必要となる。それら地磁気観測点への車両や建築物等による人工的

な磁気擾乱の観測を維持し、異常値の検出・補正処理を施し、基準値の精度維持を図った。また精密観測継続のために、柿岡、女満別及び鹿屋については地磁気観測総合処理装置を更新した。父島については、地磁気変化連続観測データ収録装置を更新した。

(9)平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
有田真・大和田毅・室松富二男・徳本哲男・森永健司・大川隆志「女満別観測施設の付属施設及び宿舎の一部解体撤去工事」に伴う絶対観測点への恒久的な影響量について，地磁気観測所テクニカルレポート第 14 巻，2016 年 3 月

(10)平成 29 年度実施計画の概要：

日本における地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島での地磁気 4 成分観測、及び全国にわたる全磁力精密連続観測網の一環として、いわき、北浦での全磁力観測を、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化、データ取得の安定性を図りながら、継続実施する。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：無

(12)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：http://www.kakioka-jma.go.jp

(13)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：山崎 貴之

所属：気象庁地磁気観測所観測課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

全国における火山観測の強化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大学や防災科学技術研究所等関係機関の協力の下、火山噴火予知連絡会で中長期的な火山監視体制の強化が必要とされた 47 火山の連続的な監視観測を継続する。また、火山活動が活発化した場合には、必要に応じ観測体制を強化する。

これらの成果は、噴火警報等の防災情報の発表や火山解説資料の作成に利用するとともに、地震火山月報(カタログ編)や火山年報で取りまとめて公表する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

1) 連続的な監視観測

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた 47 火山について、全国 4 か所の火山監視・情報センターにおいて、地震計、空振計、GPS 等により、連続的な監視観測を行う。

火山観測施設の更新計画(5 年間)に基づき、平成 23 年度から実施している観測施設の更新を継続する。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の火山について、地震観測・GPS 繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施する。また、三宅島、浅間山、桜島等、火口からの二酸化硫黄ガスの放出が継続している火山については、DOAS 等による火山ガス放出量の観測を実施する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急観測を実施し、火山活動の詳細を把握する。

3) 観測成果の公表

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報、火山解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、地震火山月報(カタログ編)や火山年報等により公表する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

1) 連続的な火山観測

全国の活火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GPS等により、連続的な監視観測を行った。

平成23年度から実施している火山観測施設の更新計画に基づき、平成28年度は口永良部島の観測施設を更新した(平成29年3月末完了予定)。また、平成26年の御嶽山の噴火を踏まえた観測施設の強化については、平成28年12月に整備完了し運用を開始した。これにより常時観測火山を50火山とした。

平成28年度にごく小規模な噴火が発生した新潟焼山、熊本地震による機器障害があった阿蘇山等については、臨時に観測機器を設置して観測強化を行った。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の火山について、GPS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した。また、阿蘇山、浅間山、桜島等、火口から二酸化硫黄ガスの放出が継続している火山については、COMPUSSによる火山ガス放出量の観測を実施した。そのほか、新潟焼山、浅間山等では、関係機関の協力を得て、上空からの観測を繰り返し実施した。

3) 観測成果の公表

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報、火山の状況に関する解説情報、火山活動解説資料等の防災目的の情報や資料として公表した他、地震火山月報(カタログ編)等に取りまとめて公表した。また、平成28年12月から気象庁のホームページに常時観測火山(50火山)の観測データの掲載を開始したほか、防災科学技術研究所のホームページでは引き続き気象庁の地震計等のデータを公開している。

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
地震火山月報(防災編)2016年3月号~2017年2月号(予定)
地震火山月報(カタログ編)2014年4月号~2014年8月号(予定)

(10) 平成29年度実施計画の概要：

1) 連続的な監視観測

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GPS等により、連続的な監視観測を行う。

また、平成26年の御嶽山の噴火を踏まえた観測施設については、安達太良山など4火山で水蒸気噴火の兆候をより早期に把握できる手法を開発するための観測施設の整備を進める。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の火山について、地震観測・GPS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施する。また、阿蘇山、浅間山、桜島等、火口からの二酸化硫黄ガスの放出が継続している火山については、COMPUSSによる火山ガス放出量の観測を実施する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急観測を実施し、火山活動の詳細を把握する。

3) 観測成果の公表

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報、火山解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、地震火山月報(カタログ編)等に取りまとめて公表する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部・札幌管区气象台・仙台管区气象台・福岡管区气象台火山監視・警報センター
他機関との共同研究の有無：有
(監視に関するデータ提供機関)
大学，研究機関，自治体，地方整備局等の火山観測実施機関

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長
電話：03-3212-8341（内線：4514）
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：http://www.jma.go.jp/

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宮村 淳一

所属：気象庁地震火山部火山課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻活動・火山活動のための地磁気基準観測、全磁力精密観測のデータベース化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻活動・火山活動を的確に検出するため、地磁気基準観測、全磁力精密観測の成果のデータベース化を継続する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

柿岡(茨城県)、女満別(北海道)、鹿屋(鹿児島県)、父島(東京都小笠原村)の4地点に、菟川(鹿児島県)を加えた5観測点における地磁気基準観測データを、継続して地磁気観測所データベースに登録し、迅速に公開するとともに、国際的なデータセンターに提供する。さらに、活動的な火山を対象とした全磁力精密観測データについて、継続してデータベースに登録する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島の4地点に、菟川を加えた5観測点における地磁気4成分連続観測データを、引き続き統一的な形式に整理し、月毎に地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、前者4地点のデータを国際的なデータセンターに提供した。さらに、活動的な火山を対象とする全磁力精密観測データについて、継続してデータベースに登録した。

また、過去の紙媒体による地磁気アナログデータをスキャナでデジタル画像に変換し、それを計算機で利用可能な高時間分解能のデジタルデータに変換する作業を進めている。今年度末には、柿岡の1976年から1983年までの地磁気7.5秒値を地磁気観測所データベースに登録し、柿岡では1956年から1983年まで公開となる予定。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Yamamoto, K., M. Nosé, N. Mashiko, K. Morinaga, and S. Nagamachi (2016), Estimation of magnetospheric plasma ion composition for 1956-1975 by using high time resolution geomagnetic field data created from analog magnetograms, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 5203-5212, doi: 10.1002/2016JA022510.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島、祓川の5観測点における地磁気4成分連続観測データを、統一的な形式に整理し、継続して地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、前者4地点のデータを国際的なデータセンターに提供する。さらに、活動的な火山を対象とする全磁力精密観測データについて、継続してデータベースに登録する。

紙媒体による地磁気アナログデータのデジタルデータ変換作業についても、継続して実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：http://www.kakioka-jma.go.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山崎 貴之

所属：気象庁地磁気観測所観測課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

全国地震カタログの作成

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

全国地震カタログを作成する。また、定常的な発震機構解析(初動発震機構解、CMT 解)及び大地震時の震源過程解析を実施し、それら成果の関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。

「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する報告書」(平成 26 年 2 月地震調査委員会)を踏まえて、文部科学省と協力して行う地震波形の分析(地震波到達時刻の読取り等)やそれを使った震源の決定等の処理震源決定にかかる処理の改善を行う等、地震カタログを充実する。

過去にさかのぼった震源決定を行うとともに、1976 年以降の大学等の検測値を取り込んで総合的な地震カタログを作成する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は気象庁の通常予算で行うものである。

各年度において、地震カタログ等を作成し、関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。

高感度地震観測処理の改善に関しては、平成 26 年度に「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する報告書」に係る業務上必要な事項についての検討を行い、平成 27 年度から運用を開始する。また、海域の地震観測網の拡大に対応するため、平成 26 年度に海底地震計のデータを用いた震源決定手法の改善について調査を行い、後年度に運用を開始する。

震源過程解析に関しては、平成 26 年度に過去の解析結果の再解析を含めた見直しを行う。平成 27 年度にカタログ化に必要なフォーマットの検討を行い、後年度に提供を開始する。

過去震源の改定に関しては、平成 26 年度に 1955・1958・1975 年の震源の再計算を行い公開する。後年度に、1976～1997 年の期間について大学の検測値を取り込んだ総合的な地震カタログを作成する。

その他、適宜、地震カタログに係る解析・処理の改善を図る。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

地震カタログとしての、web 版の地震月報(カタログ編)は 2016 年 4 月分まで公開した(平成 28 年度内の予定含む)。

「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する報告書」(平成 26 年 2 月地震調査委員会、以下「報告書」)を踏まえた震源の決定等の処理の改善については、これまでのトリガ方式の地震検知に加

えて新たな地震検知手法である PF 法(溜淵・他、2016)を取り入れ、自動処理による地震検出結果を検測処理の基本とする作業手順を確立した。新たな作業手順では、自動処理による地震の規模の推定値が、あらかじめ定めたMの閾値(以下「Mth」)以上であれば、これまでと同様に人手により精査した結果を地震カタログに登録する。一方、Mth未満であれば波形を確認した上で地震の相・振幅が正しく検測され良好に震源決定されていれば自動処理結果をそのまま、そうでなければ人手による簡易的な検測作業を行った結果を登録する。さらに、震源が決まらない場合も、地震検知の情報は登録する。波形を確認した結果、地震ではないと判定した場合には登録はしない。こうした作業手順により、必要十分な品質を確保しつつ、地震として検知されたイベントはもれなく登録されることになり、地震カタログの充実が図られる。

以上、報告書関連の処理の改善に基づく新たな処理を平成28年4月1日から開始した。この改善により、地震カタログに登録される地震数は改善前の約2倍となった。また、自動震源の活用により、地震直後に気象庁が発表する防災対応のための資料や地震調査委員会での評価に寄与している。

震源過程解析については、平成28年度に日本国内で発生した5個の地震と、海外で発生した10個の地震について解析し、地震調査委員会及び地震予知連絡会に提出するとともに、気象庁ホームページなどで公開した。また、2010年12月以降に日本およびその周辺で発生した地震について、今後のカタログ化の対象とすることから、過去の解析で用いた手法およびデータの確認等、カタログ化に向けた準備を行った。

(9)平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
気象庁,地震月報(カタログ編), < <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html> > (参照2017-2-1)。

The Seismological Bulletin of Japan, < http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index_e.html > ,
(参照2017-2-1)。

気象庁,国内で発生した顕著な地震の震源過程解析結果, < <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/index.html> > (参照2017-2-1)。

気象庁,海外で発生した顕著な地震の解析結果, < <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/index.html> > (参照2017-2-1)。

溜淵功史・森脇健・上野寛・束田進也,2016,ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定手法,験震時報,79,1-14。

鎌谷紀子・山田尚幸・石垣祐三・武田清史・黒木英州・高濱聡・森脇健・山本麦・上田満治・山内崇彦・田中美穂・小松陽子・迫田浩司・廣田伸之・菅ノ又淳一・川合亜紀夫・森田裕貴・案浦理・西前裕司・青木重樹・古謝植之・中村浩二・青木元・橋本徹夫,2016,平成28年(2016年)熊本地震について,日本地球惑星科学連合大会予稿集,MIS34-P01。

鎌谷紀子・山田尚幸・石垣祐三・武田清史・黒木英州・高濱聡・森脇健・山本麦・上田満治・山内崇彦・田中美穂・小松陽子・迫田浩司・廣田伸之・菅ノ又淳一・川合亜紀夫・森田裕貴・案浦理・西前裕司・青木重樹・古謝植之・中村浩二・青木元・橋本徹夫,2016,平成28年(2016年)熊本地震-詳報-,日本地球惑星科学連合大会予稿集,MIS34-P02。

高濱聡・溜淵功史・森脇健・秋山加奈・廣田伸之・山田尚幸・中村雅基・橋本徹夫,2016,気象庁地震カタログの改善,日本地球惑星科学連合大会予稿集,SSS30-03。

高濱聡・廣田伸之・山田尚幸・鎌谷紀子・橋本徹夫,2016,気象庁地震カタログの改善 改善後の処理状況など,日本地震学会講演予稿集,S09-P18。

田中美穂・迫田浩司,2016,強震波形を用いた2016年熊本県熊本地方の地震の震源過程-複雑な位置関係にある震源断層モデル間の関係-,日本地震学会講演予稿集,S21-36。

(10)平成29年度実施計画の概要:

地震カタログとして、地震月報(カタログ編)をweb公開する。

平成 29 年中に開始できるよう、地震観測点に対する具体的な観測点補正值と観測点高度毎の走時表の作成を行う。

1976 年の再計算を引き続き実施し、地震カタログに反映する。この時代からは大学等の観測データが増加しているので、気象庁の検測値データだけではなく、再現できるデータすべてを用いて網羅的なカタログを作成する。

震源過程解析を行い関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。また、カタログ化に向けた準備を引き続き行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地震火山部地震予知情報課

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長

電話 : 03-3212-8341 (内線 : 4514)

e-mail : jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 高濱 聡

所属 : 地震火山部地震予知情報課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

防災・減災に関する知識の普及啓発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

緊急地震速報の利活用促進

長周期地震動情報の普及シロ

津波防災に関する普及・啓発

噴火警報、噴火警戒レベルの利活用促進

量的降灰予報の普及・啓発

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

気象庁では、国や地方自治体等の防災関係機関、教育機関、大学等研究機関と連携しながら、地震・津波及び火山に関する現象や警報をはじめとする防災気象情報に関する、知識、防災・減災等に対する住民の意識の向上に、全庁を挙げて戦略的に取り組んでいる。

このうち、地震津波関係で、特に、緊急地震速報の利活用促進、長周期地震動情報、津波防災に関する普及・啓発について、さらに進めていくこととしている。また、火山関係では噴火警報、噴火警戒レベルの利活用推進をさらに進めると共に、量的降灰予報の普及・啓発を進めることとしている。平成 26 年度においても、これまでの取り組みの成果や各地の取り組み、各種検討部会での議論の結果を踏まえ、継続的或いは発展的な普及啓発の取り組みを進めるよう、対応を進めていく。

なお、普及啓発の対応は息の長い取り組みが必要であることから、平成 27 年度以降についても継続的に取り組んでいく予定。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

関係機関と連携し、地域の状況にあった様々な手段を用いて地震・津波及び火山に関する知識や防災行動についての普及啓発に継続的に取り組んだ。主な実施内容は以下のとおり。

- ・ 地方自治体等と連携した防災訓練への助言・協力、HP 等での相互協力
- ・ 教育機関と連携した学校防災教育へ助言・協力
- ・ 防災関係機関、民間団体等と連携した出前講座・防災講演会等の実施
- ・ 関係機関と連携した合同登山・学習登山の実施
- ・ 報道機関と連携した防災番組への協力

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

これまでの取り組みの成果や経験を活かし、全国の気象官署において引き続き継続的或いは発展的に取り組む。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁及び全国気象官署職員

他機関との共同研究の有無 : 有

様々な関係機関、専門家等と連携

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話 : 03-3212-8341 (内線 : 4514)

e-mail : jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 高橋 賢一

所属 : 気象庁地震火山部管理課地震津波防災対策室

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海底地殻変動観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震活動、地震の余効変動、固着回復過程などの詳細を調べ、構造との関係を明らかにするため、GPS - 音響測距結合方式による海底地殻変動観測を継続する。

併せて、観測体制の強化を進め、南海トラフなどのプレート境界の固着状態の把握に努める。また、観測手法の一層の高度化を進め、効率的で長期に安定した計測技術の開発を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

引き続き、日本海溝沿い、南海トラフ沿いなど、日本近海の高溝型巨大地震が発生した海域ならびに発生が想定される海域において、海底地殻変動観測を継続するとともに、観測技術の開発・効率化を図り観測の高度化を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

日本海溝沿いにおける観測を継続しており、昨年度までと同様にマントルの粘弾性効果の影響を含んだ余効変動が観測されている。その傾向は、大きくは変わっていないが、やや福島沖の観測点などでは鈍化傾向が見られる(図1)。

南海トラフ沿いにおいて、平成27年6月までの観測から得られた、アムールプレートに対する移動速度を、国土地理院の電子基準点の平均移動速度と合わせて Yabuki and Matsu'ura (1992) の手法を用いた測地学的インバージョンを行い、プレート境界のすべり欠損速度の分布を推定した(図2)。東北地方太平洋沖地震の観測結果への影響は Iinuma et al. (2012) 及び Sun and Wang (2015) のモデルを用いて取り除いた。

結果として、内閣府による南海トラフ巨大地震の想定震源域の全体は正のすべり欠損速度を持っていることがわかった。また、1940年代の東南海・南海地震の震源域よりも外側にすべり欠損速度の高い領域が広がっていることも示された。逆にすべり欠損速度の低い領域は VLFE の分布と整合的であり、周辺に海山の沈み込みも見られることから、これらの現象とプレート境界のすべり欠損の状態は何らかの物理的相関を持つことが初めて示された。(Yokota et al., 2016)

- (9) 平成28年度の成果に関連の深いもので、平成28年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro & A. Asada (2016), Nature, doi:10.1038/nature17632
海上保安庁, 2016, 東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動観測結果, 地震予知連絡会会報, 96, 94-97
海上保安庁, 2016, 南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果, 地震予知連絡会会報, 96, 328-332
海上保安庁, 2016, 東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動観測結果, 地震予知連絡会会報, 97, 印刷中
海上保安庁, 2016, 南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果, 地震予知連絡会会報, 97, 印刷中
横田裕輔, 2016, 海底地殻変動観測による震源のモニタリング, 地震予知連絡会会報, 97, 印刷中

(10) 平成29年度実施計画の概要：

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室
他機関との共同研究の有無：有
東北大学災害科学国際研究所

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室
電話：03-3595-3632
e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。
URL：http://www1.kaiho.mlit.go.jp/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：石川 直史
所属：海上保安庁海洋情報部技術・国際課

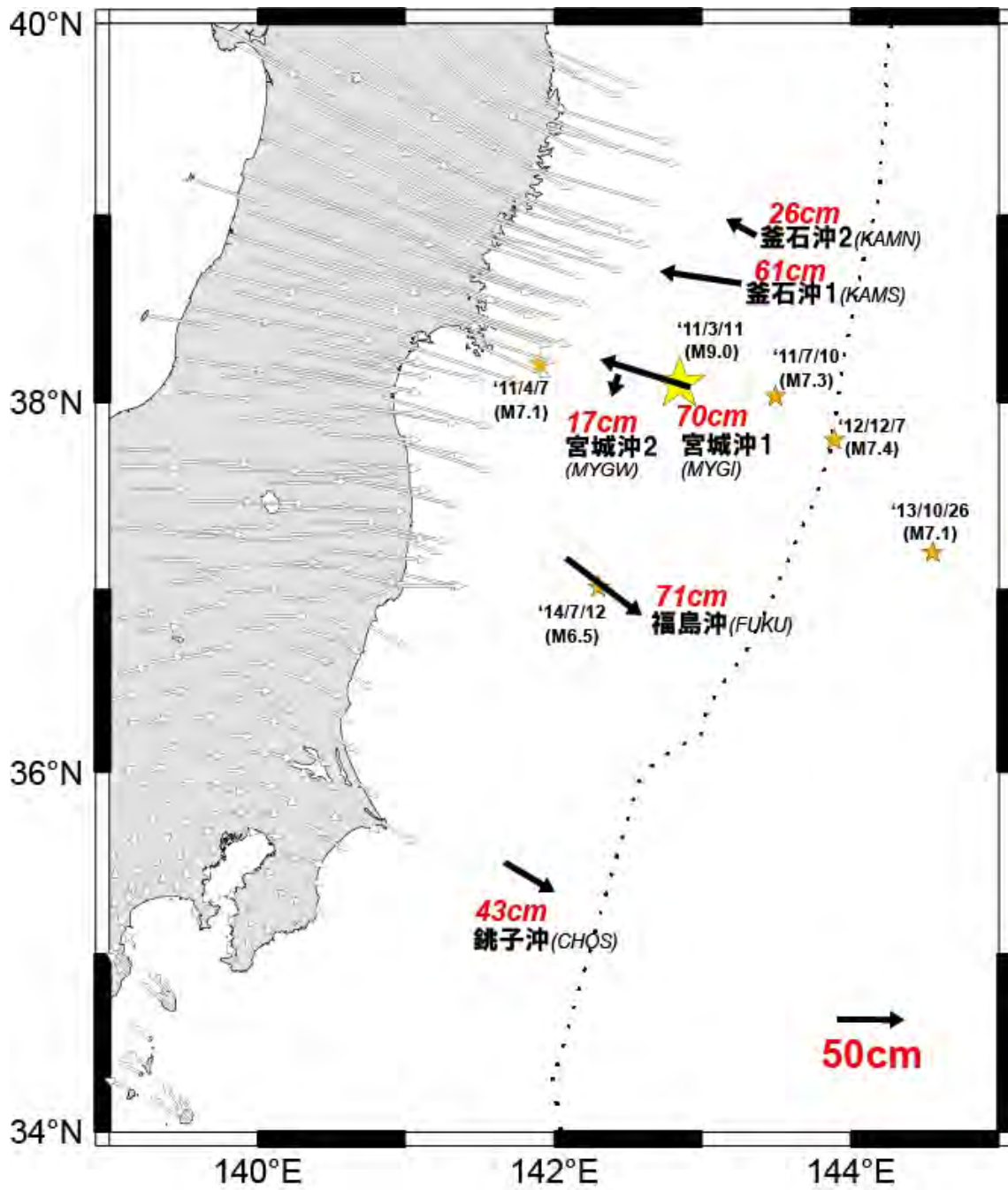


図1 東北地方太平洋沖地震以降の水平変位 (電子基準点「福江」固定)

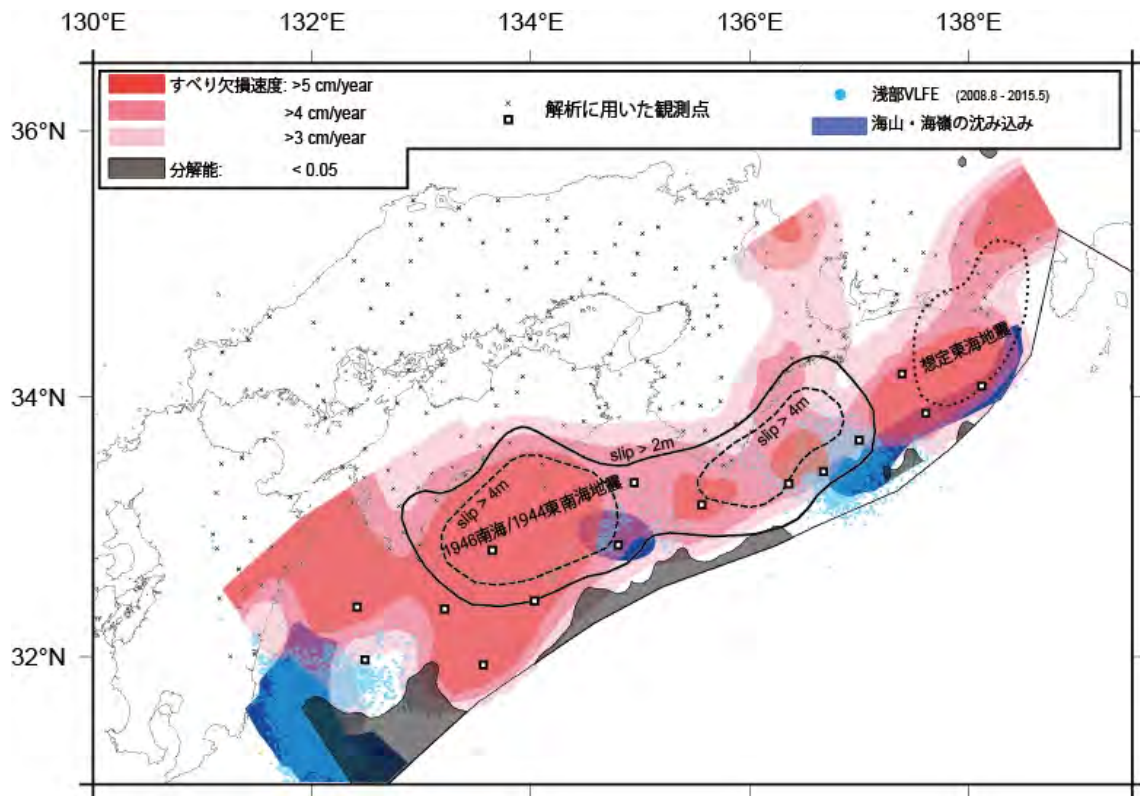


図2 陸上及び海底の地殻変動データから推定されたプレート境界のすべり欠損分布

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海洋測地の推進

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

SLR の国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動を把握するためのデータを提供し精度向上に貢献する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

下里水路観測所において SLR の国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

海上保安庁では 1982 年から下里水路観測所において、SLR 観測を継続的に実施しており、ITRF の原点決定への貢献ならびに日本周辺のプレート収束速度の高精度検出に寄与している。2015 年までの下里の座標変化は図 1 の通りとなっている。2016 年も前年と同程度の 1,376 パスの測距データを取得した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁(2016), 人工衛星レーザー測距観測(2014 年), 海洋情報部観測報告衛星測地編,29.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

SLR の国際共同観測を継続し、ITRF の原点決定ならびに日本周辺のプレート収束速度決定の精度向上に貢献する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室
電話 : 03-3595-3632

e-mail : 下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL : <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 長岡 継

所属 : 海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

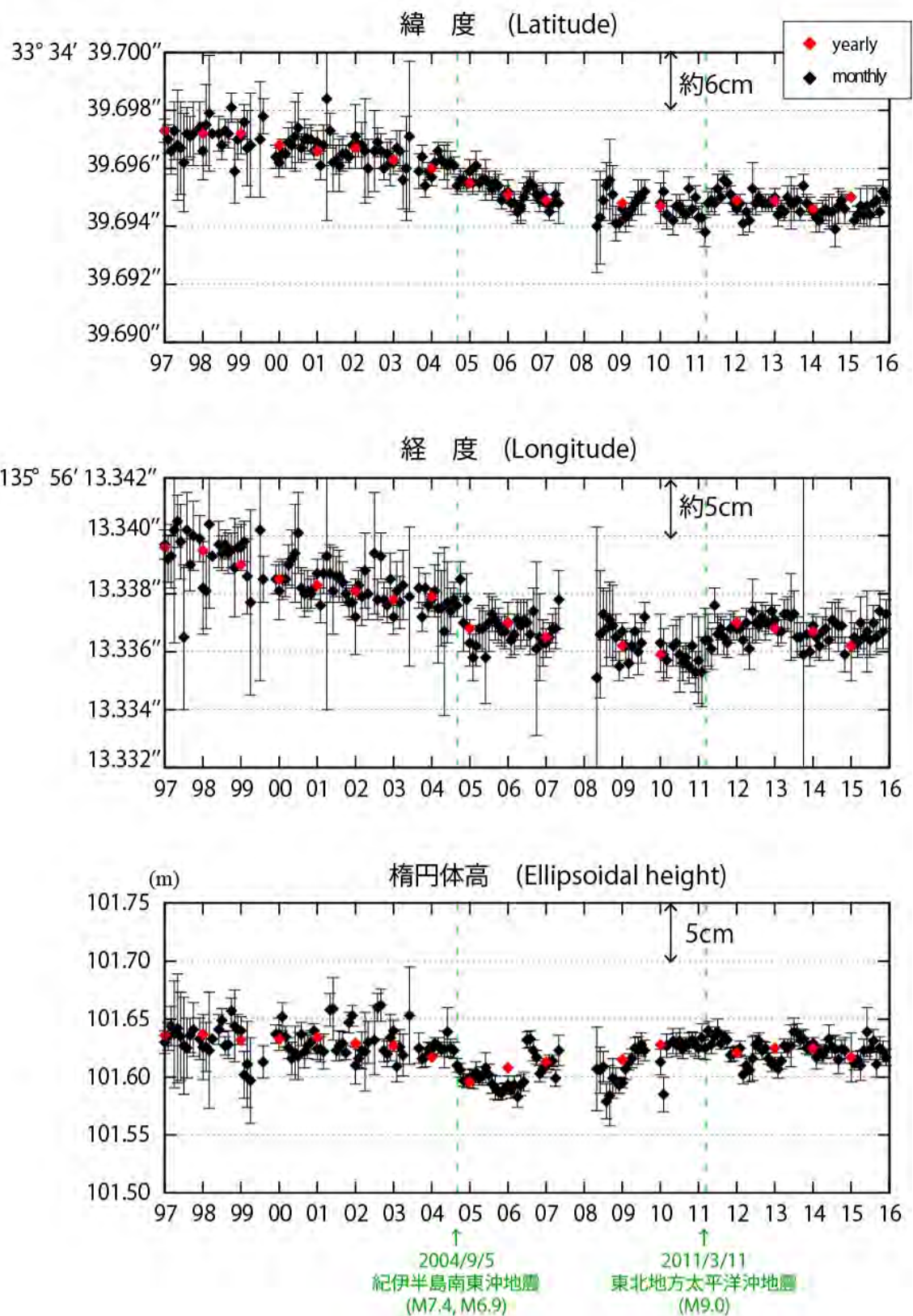


図1 SLR観測により求められた下里の座標変化(1997~2015年)

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海域火山観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報図整備を継続して実施する。

海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報図整備を継続して実施する。

海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

海域火山の定期巡回監視を実施した。また、海域火山基礎情報図調査を「海徳海山」で実施した。さらに「西之島」で上陸調査及び海洋調査を行った。

これらの調査結果を火山噴火予知連絡会で報告すると共に、海域火山データベースで公表した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2016, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 124, 印刷中

海上保安庁, 2016, 西之島周辺海域における海洋調査結果, 火山噴火予知連絡会会報, 124, 印刷中

海上保安庁, 2016, 西之島における噴火の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 124, 印刷中

海上保安庁, 2016, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 125, 印刷中

海上保安庁, 2016, 西之島における噴火の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 125, 印刷中

佐藤 泉, 2016, 西之島周辺海域で採取された海水組成変化, 火山学会 2016 年秋季大会, ポスターセッション

小野智三ほか，2016，西之島火山の 2013-2016 年火山活動，日本地球惑星科学連合 2016 年大会，ポスターセッション

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報図整備を継続して実施する。
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

電話：03-3595-3607

e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

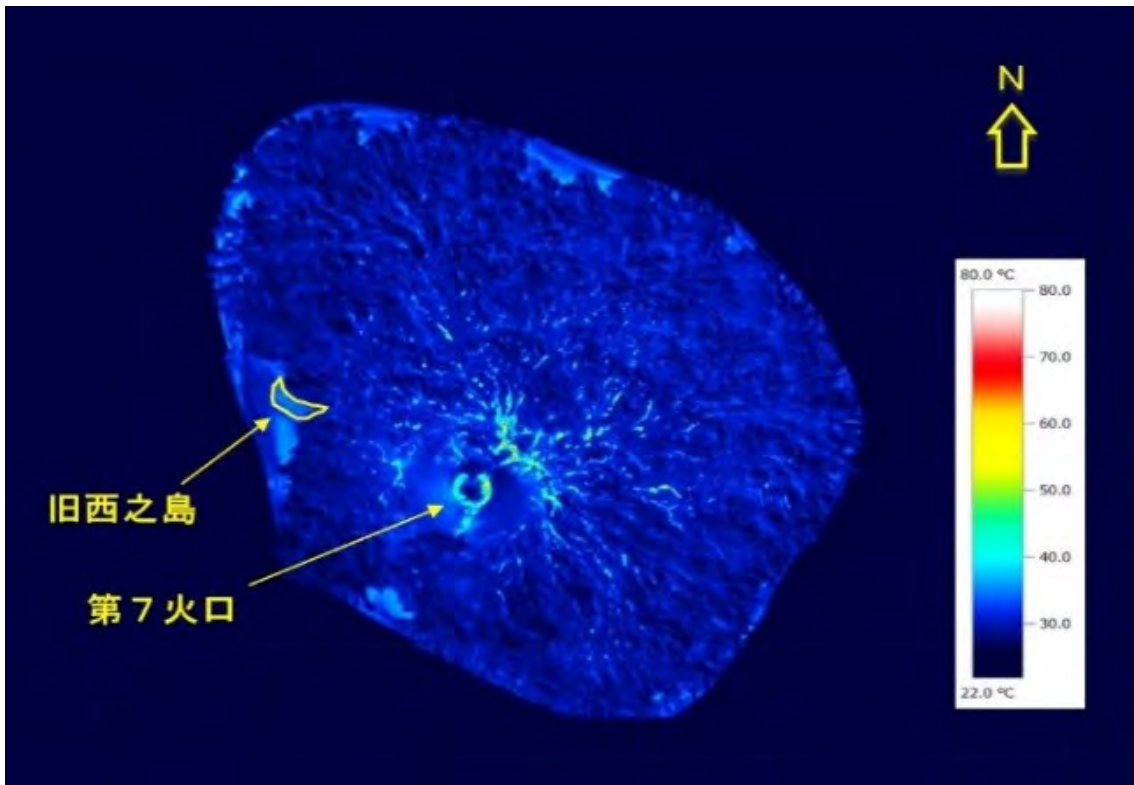
(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小野智三

所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室



第1図 西之島の変色水域 2016年8月18日12:41撮影



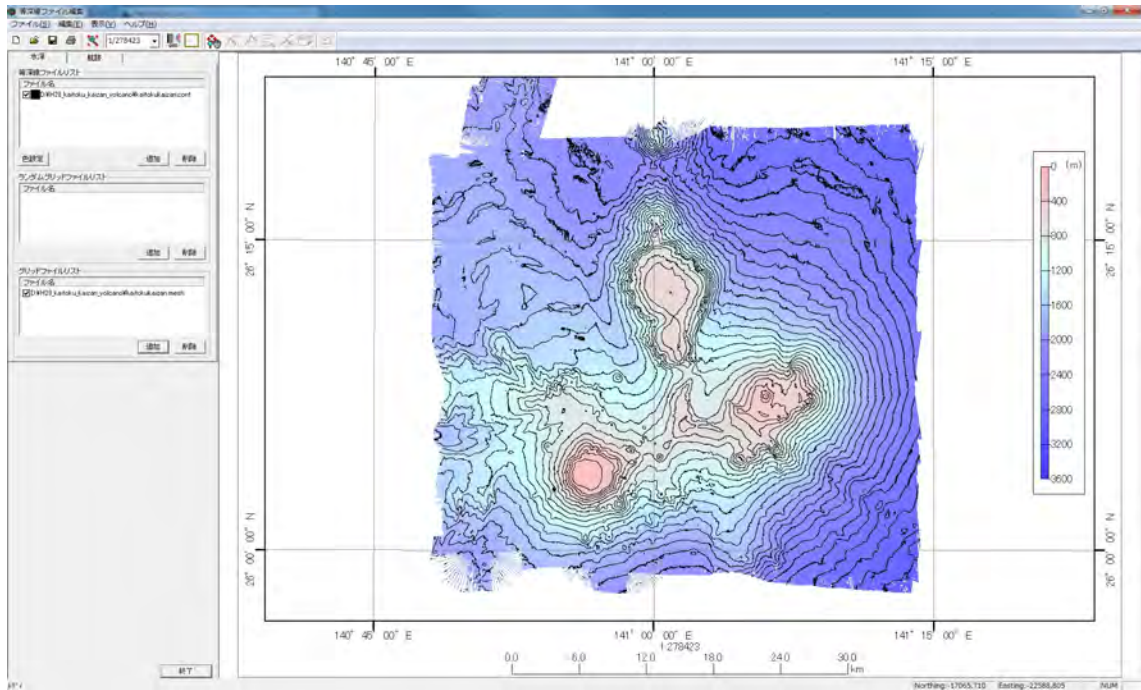
第2図 西之島の熱計測画像 2016年9月15日12:18~28撮影



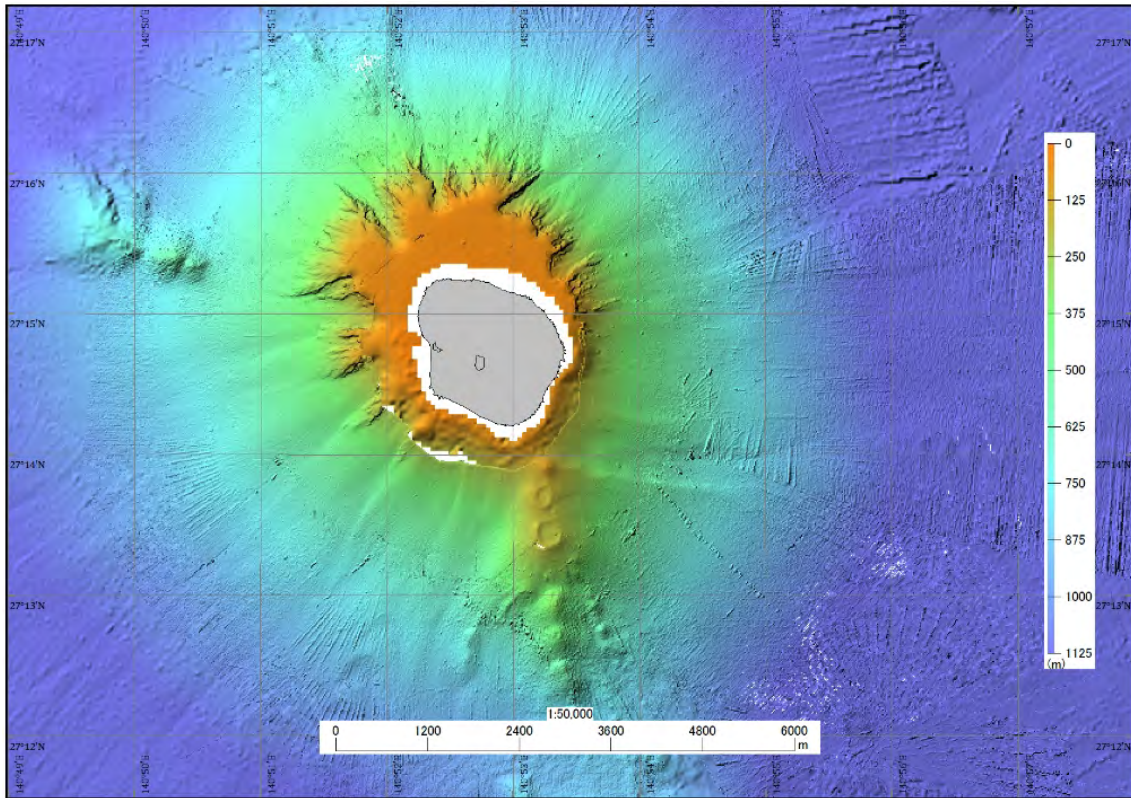
第3図 伊豆鳥島 2016年9月15日13:25撮影



第4図 硫黄岳火口西側海岸線の変色水域 2016年9月13日11:07撮影



第5図 海徳海山海底地形図(暫定版)



第 6 図 西之島海底地形図（暫定版） 西之島の地形は 2016 年 6 月 7 日現在

- (1) 実施機関名：
海上保安庁
- (2) 研究課題（または観測項目）名：
地殻変動監視観測
- (3) 最も関連の深い建議の項目：
1. 地震・火山現象の解明のための研究
(5) 火山現象のモデル化
ア. マグマ噴火を主体とする火山
4. 研究を推進するための体制の整備
(2) 研究基盤の開発・整備
ア. 観測基盤の整備
- (4) その他関連する建議の項目：
- (5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：
東北地方太平洋沖地震
南海トラフの巨大地震
首都直下地震
- (6) 本課題の 5 か年の到達目標：
継続的に GNSS 観測による地殻変動の監視観測を実施するとともに、観測データを利用して地震・火山現象に伴う地殻変動を検出する。
- (7) 本課題の 5 か年計画の概要：
伊豆諸島海域において GNSS 連続観測を実施するとともに、DGPS 局のデータを利用して地殻変動を検出する。
- (8) 平成 28 年度の成果の概要：
海上保安庁の GPS 観測点において通年の観測を実施し、得られた結果について地震調査委員会、地震予知連絡会及び火山噴火予知連絡会に報告した。
GPS 観測点の 1 年間の位置変化を図 1 に示す。
- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
海上保安庁（2016）、海上保安庁による GPS 地殻変動監視観測，地震予知連絡会会報，96，24-29。
海上保安庁（2016）、海上保安庁による GPS 地殻変動監視観測，地震予知連絡会会報，97，印刷中。
- (10) 平成 29 年度実施計画の概要：

GPS 観測による地殻変動の監視を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

電話 : 03-3595-3632

e-mail : 下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください .

URL : <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 長岡 継

所属 : 海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

DGPS局等の水平変動 - 1年間 -

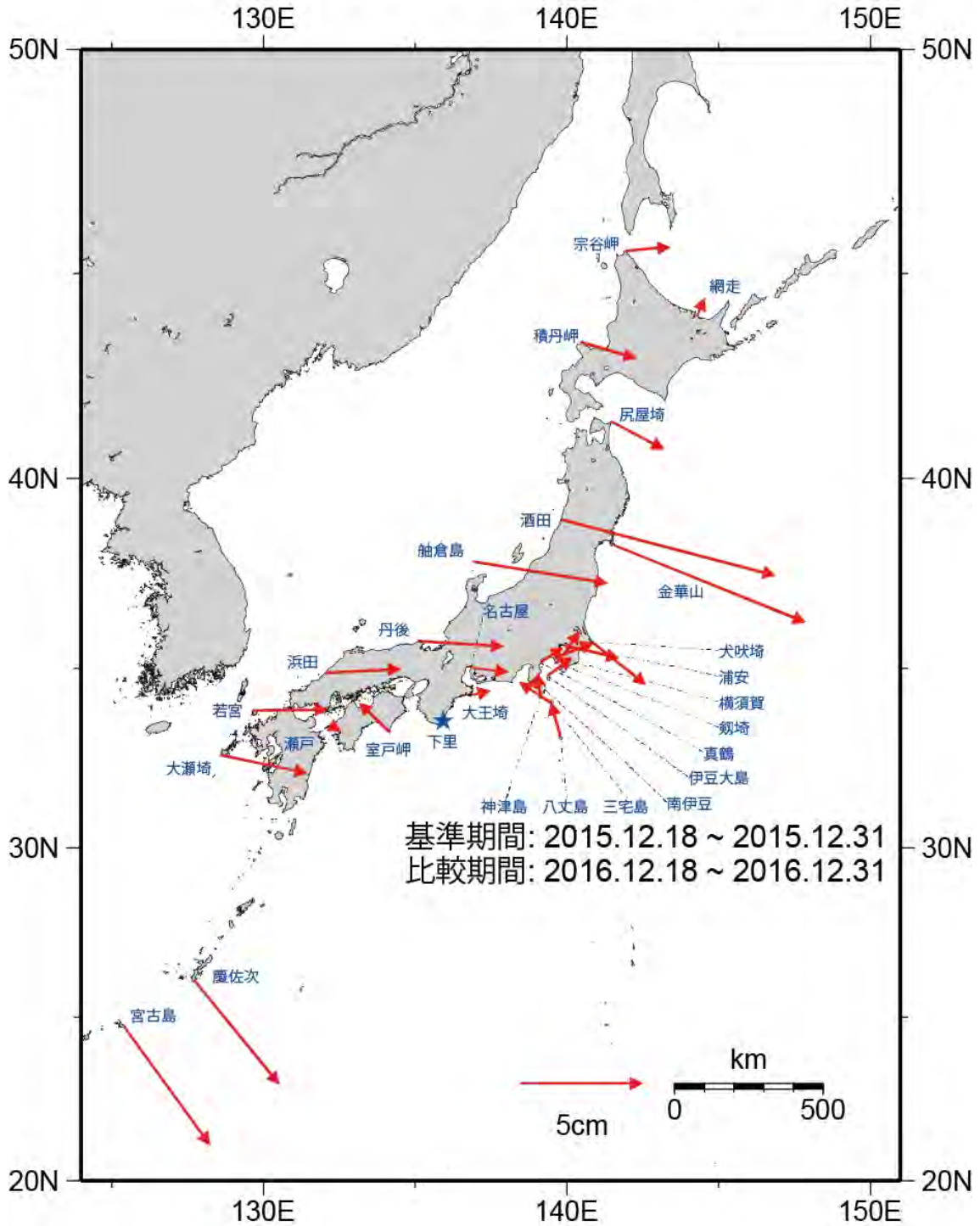


図1 DGPS局等のGPS連続観測から求めた水平変位(下里局固定)

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

験潮

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

験潮観測の継続実施

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

引き続き、験潮観測を実施し、日本全国の地殻変動監視及び他機関との連携による験潮データのリアルタイム公開を実施する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

海上保安庁は潮汐観測により平均水面を求め、海岸昇降検知センターへ提出し、日本全国の地殻変動監視に供している。

また、国土交通省水管理・国土保全局及び港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、インターネットによるリアルタイム験潮データで公開を実施した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

なし

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

平成 28 年度と同様に全国 20 ヶ所の験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、インターネットによるリアルタイム験潮データで公開する。

海上保安庁所管験潮所：竜飛、釜石、横浜、横須賀、千葉、三宅島、神津島、八丈島、徳山、広島、呉、大分、博多、佐世保、巖原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部環境調査課

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海上保安庁海洋情報部環境調査課

電話：03-3595-3609

e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤 茂幸

所属：海上保安庁海洋情報部環境調査課

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海域における地形・活断層調査

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

巨大地震の発生が懸念されるプレート境界域等において、海底地形等の調査を実施する

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

我が国の沿岸海域において、海底地形の調査を実施した。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

なし

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

巨大地震の発生が懸念されるプレート境界域等において、海底変動地形等の調査を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部海洋調査課

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海上保安庁海洋情報部海洋調査課

電話：03-3595-3606

e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：http://www1.kaiho.mlit.go.jp/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：福山 一郎

所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課

(1) 実施機関名：

奈良文化財研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

考古資料および文献資料から見た過去の地震・火山災害に関する情報の収集とデータベースの構築・公開

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

イ. 考古データの収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

過去の災害を研究する場合、近代的な記録が整備されている時代のみを対象とするのでは不十分である。歴史的な記録類を参照するとともに、文字資料を補完する役割を果たす考古資料についても、発掘調査の場で災害の痕跡を正しく認識することによって、情報を収集・分析する必要がある。また、これらの情報をデータベース化して公開することで、従来よりも長期にわたる、より正確な地震・火山災害に関する情報を提供することが可能となり、災害痕跡の認識に関するレベルの向上を図るとともに、将来的な防災・減災に寄与することが期待される。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

新規研究

考古学の領域では、特に阪神・淡路大震災を契機として、過去の地震や火山噴火などの災害痕跡に関する問題意識が高まり、各地の発掘調査で多くの考古データが蓄積されつつある。しかし、それらを収集・公開する体制は未整備であり、情報が十分に共有されているとはいえない。そこで、そうした災害に関する考古データを全国的に収集・分析し、文字史料とのすり合わせを含めて、どの時代のいかなる災害によるのかを検討する。そして、情報を時代と地域、災害の原因ごとに整理し、データベースとして公開することによって、過去の災害情報の共有化を図るとともに、将来にわたる防災・減災を講じる指針とする。

平成 26 年度：データベースの項目設計、発掘現場での情報収集、データの収集と分析、文献史料の調査

平成 27 年度：データベースの構築開始、発掘現場での情報収集、データの収集と分析、研究集会の開催

平成 28 年度：歴史時代を中心としたデータベースの公開、発掘現場での情報収集、データの収集と分析

平成 29 年度：データベースの先史時代への拡張、発掘現場での情報収集、データの収集と分析、研究集会の開催

平成 30 年度：拡張版データベースの公開

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

平成 28 年度は、全国の埋蔵文化財発掘調査報告書から、新たに熊本県 (28カ所)・大分県 (22カ所)・福岡県 (41カ所)・和歌山県 (102カ所)・香川県 (37カ所) の災害痕跡に関する地質考古資料を収集し、データ整理を実施した。

データベース項目の再定義を行い、既入力データの更新ならびに新データ約 1 万件の入力を行った。

災害考古情報データベースGISシステムの動作確認を行い、産業総合研究所地質情報システム・国土地理院情報検索システム・東京大学史料編纂所歴史地震史料データベースとのシステム連携を図り、29 年度の早い段階に一部公開可能などところまでシステム構築を進めた。

平城宮・京跡 (奈良県)・青谷横木遺跡 (鳥取県)・武久川下流条里遺跡 (山口県) 等の遺跡発掘調査現場において地震痕跡等の地層資料を採取し、災害発生時期を示す考古資料との照合を行うなど、地質考古災害資料の整理・分析を進めた。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

村田泰輔・神野恵ほか, 2016.6.24, 右京一条二坊四坪・二条二坊一坪・一条南大路・西一坊大路の調査「奈良文化財研究所紀要 2016」, 奈良文化財研究所, 124-153. 村田泰輔ほか, 2016.10.31, 「常松菅田遺跡 2」, 鳥取県教育文化財団. 村田泰輔ほか, 2017.3.20「大楠遺跡 2」, 鳥取県教育文化財団. 村田泰輔, 2016.8.28~9.2, The Japan GIS Database of the Historical Natural Disaster and Hazards using research data of Archeological excavation, Geological survey and Historical documents., ポスター発表 T13-03P, The Eighth World Archaeological Congress.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

先史時代の災害考古情報データベース資料収集・データ整理をさらに広く進めるとともに、28 年度に引き続き、歴史時代に関しても全国の発掘調査報告書からの災害痕跡考古資料収集、データ分析・整理、データ入力を実施する。

発掘調査現場での地質考古災害痕跡の検出・検討、災害痕跡地層資料等の採集・分析・データ整理、データ入力を継続して行う。

地質考古的な災害痕跡認定基準に関する専門家による研究集会を開催する。

パイロット版の災害考古情報データベースを公開する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

津田保行・森本晋・小池伸彦・渡辺晃宏・金田明大・山崎健・脇谷草一郎・星野安治・高田祐一・村田泰輔 (奈良文化財研究所)

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 研究支援推進部総務課

電話 : 0742-30-6733

e-mail : webstaff@nabunken.go.jp

URL : <http://www.nabunken.go.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 小池伸彦

所属 : 奈良文化財研究所 埋蔵文化財センター 遺跡・調査技術研究室

(1) 実施機関名：

北海道立総合研究機構地質研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

日本海沿岸域における過去最大級津波の復元

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

1 . 津波堆積物や古文書記録から 1741 年渡島大島の山体崩壊による津波の浸水域を明らかにするとともに、数値シミュレーションにより浸水域を復元できる山体崩壊の崩壊速度や崩壊体積などを明らかにする。

2 . 津波堆積物調査の結果明らかになった 13 世紀頃の津波について、波源域の推定を進め地震の規模や浸水域の推定を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、日本海沿岸域における地震及び火山噴火に伴う低頻度大規模な津波イベントについて地質データを収集するとともに、津波シミュレーションと相互補完的に検証作業を行って確度の高い波源モデル・数値モデル構築や、浸水域の確定を行う。

平成 27 年度は、1741 年渡島大島山体崩壊による津波シミュレーションの高度化、津波堆積物による検証と数値モデルの最適化を行う。

平成 28 年度は、13 世紀頃の津波の波源域の推定、津波シミュレーションと津波堆積物による波源モデルの構築を行う。

平成 29 年度は、檜山沿岸の広域にわたる津波浸水実績のとりまとめ、GIS 化を行う。

平成 30 年度は、講演会等により成果の普及をはかる。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

1741 年渡島大島の山体崩壊による津波について、柳澤ほか (2014) による地すべり・津波統合シミュレーションを適用し、山体崩壊および津波それぞれの再現計算を実施した (図 1)。山体崩壊の計算結果は現在の海底地形から判読した崩壊堆積物の分布と概ね一致し、また計算された津波の高さや浸水範囲は歴史記録および津波堆積物の分布と調和的であった (図 2、図 3)。計算結果をふまえて追加的な津波堆積物調査を実施し、新たに津波堆積物の可能性があるイベント堆積物を確認した (図 4)。成因を推定するため堆積物懸濁液の電気伝導度 (EC)、pH を測定した結果、測定値にイベント堆積物に対応するピークが認められ、津波起源の可能性が高いと判断した。

一方、津波堆積物から 13 世紀頃に発生したと考えられる津波は、他の地質学的証拠 (奥尻島における陸上の大規模山体崩壊の発生日代) から地震性と推定される (Kawakami *et al.* in press)。その波源モデルとして国の F17 断層モデル (日本海における大規模地震に関する調査検討会, 2014) を改変した北海道防災会議地震専門委員会 (2016) による断層モデルを選定し (図 5、図 6) 津波シミュレーションを行った (図 7、図 8)。計算された遡上域は津波堆積物の分布を概ね説明するものとなった (図 8)。

研究の進捗状況としては、概ね計画通りとなっている。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

1. 加瀬善洋・他, 2016, 北海道南西部奥尻島で発見された津波堆積物。地質学雑誌, 122, 587-602.
2. Kawakami *et al.*, in press, Stratigraphic records of tsunamis along the Japan Sea, southwest Hokkaido, northern Japan. Island Arc.

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度は以下の研究項目を実施する予定である。

1. 13 世紀の津波の再現計算に関して計算パラメータの調整を行い、既知の津波堆積物分布を説明する最適なモデルを特定する。
2. 13 世紀の津波の再現計算を検証するため、追加的な津波堆積物調査を実施する。
3. 1741 年の津波、および 13 世紀の津波の浸水計算結果を WEB 上で公開する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地質研究所 地域地質部 地質防災グループ、資源環境部 沿岸地質グループ
他機関との共同研究の有無 : 有
北海道大学大学院理学研究院 谷岡勇市郎

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 北海道立総合研究機構 地質研究所

電話 : 011-747-2420 (代表)

e-mail :

URL : <http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/index.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 川上源太郎

所属 : 地域地質部 地質防災グループ

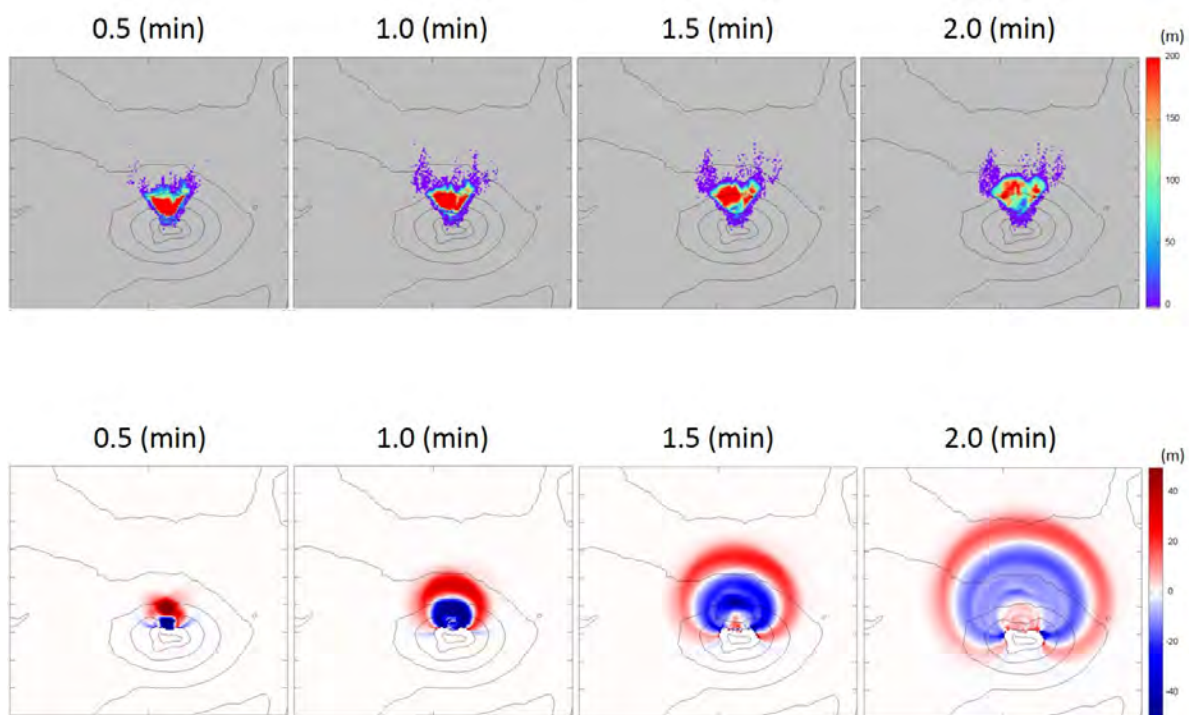


図1 . 地すべり・津波統合シミュレーションの計算結果 (スナップショット)
崩壊発生から2分後まで30秒ごとの、地すべり堆積物の厚さ分布(上段)、および津波の高さ分布(下段)を示す。

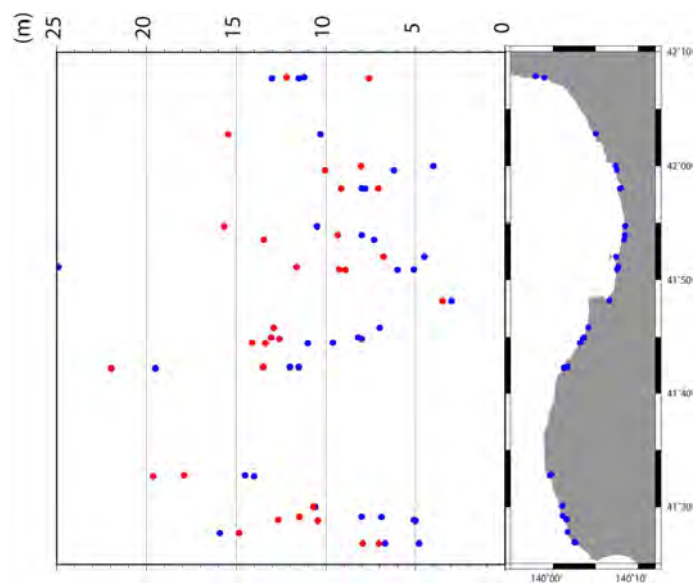


図2 . シミュレーションによる1741年津波の海岸線における高さ(赤丸)と歴史記録との比較
檜山沿岸域における歴史記録のうち信頼度が高いものを抽出し、同地点での記録に基づく津波の高さ(青丸)とシミュレーションによる津波の高さ(赤丸)とを比較した。計算結果は歴史記録を若干上回るものの、ほぼ調和的な値となった。

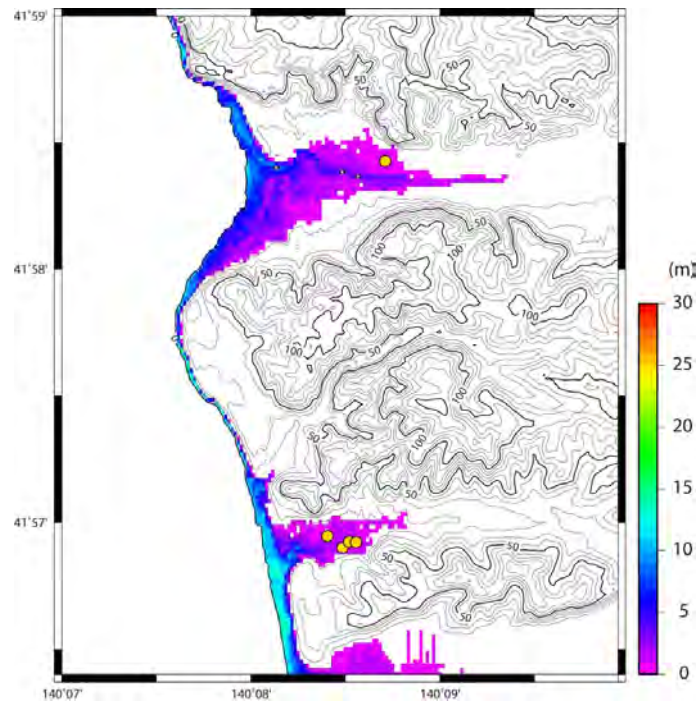


図3．檜山沿岸域における1741年津波の浸水シミュレーション結果（浸水深）
津波浸水シミュレーションの結果は、1741年の津波堆積物の確認地点（オレンジの丸）を若干越える範囲まで広がっており、堆積物の分布をよく説明する。

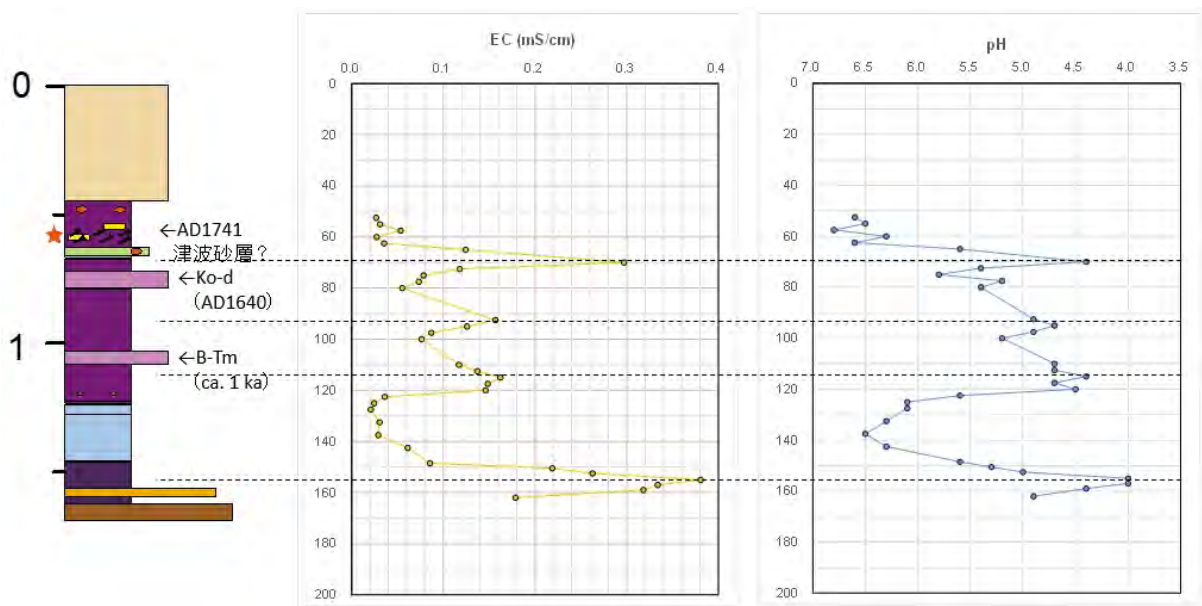


図4．津波堆積物の追加調査結果（上ノ国の例）
津波浸水シミュレーションの結果を受けて、上ノ国町天の川河口の左岸域で津波堆積物調査を行った。調査の結果、粘土質泥炭中に西暦1640年降灰の駒ヶ岳d火山灰層（Ko-d）と、同火山灰層の直上に植物片を伴うパッチ状の砂層が挟在するのを確認した。砂層の起源を推定するため堆積物懸濁液の電気伝導度（EC）およびpHを測定した結果、砂層のやや下位の層準に高EC、低pHのピークが認められた。またKo-d火山灰層と白頭山 苦小牧（B-Tm）火山灰層との中間付近の、13世紀頃の年代に相当する層準においても高EC、低pHのピークが認められた。少なくともパッチ状の砂層は、1741年の津波により堆積した可能性が高いと判断した。

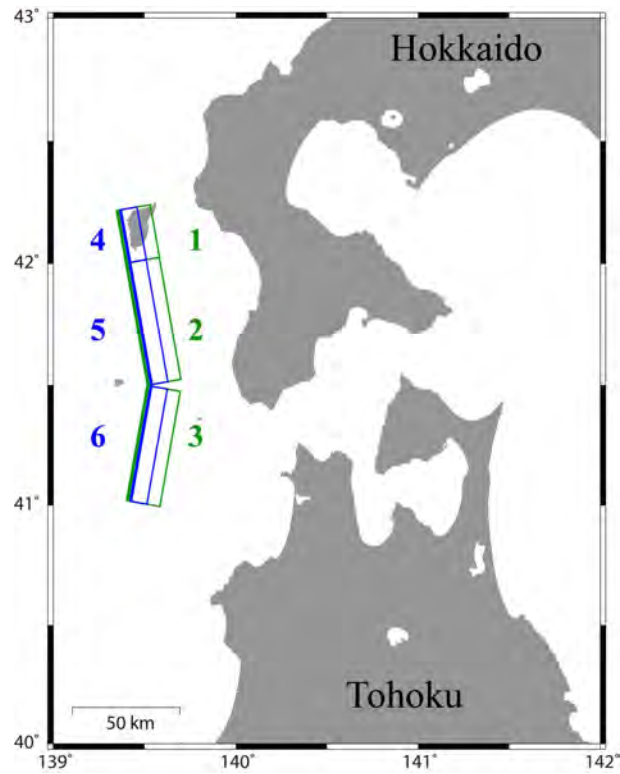


図5 . 13 世紀の津波の波源モデル（北海道防災会議地震専門委員会，2016 による）
 13 世紀の津波の波源モデルとして、国の断層モデル F17（日本海における大規模地震に関する調査検討会，2014）を改変した北海道防災会議地震専門委員会（2016）による断層モデルを選定した。パラメータは図6 に示したとおり。

number	length (km)	width (km)	strike (°)	dip (°)	rake (°)	depth (km)	slip (m)
1	24	22	350	45	96	2.8	4.8
2	57	22	350	45	96	2.8	4.4
3	54	22	10	45	106	2.8	4.6
4	24	11	350	45	96	4.3	7.2
5	57	11	350	45	96	4.3	7.7
6	54	11	10	45	106	4.3	7.4

図6 . 計算に用いた断層モデルのパラメータ（北海道防災会議地震専門委員会，2016 による）

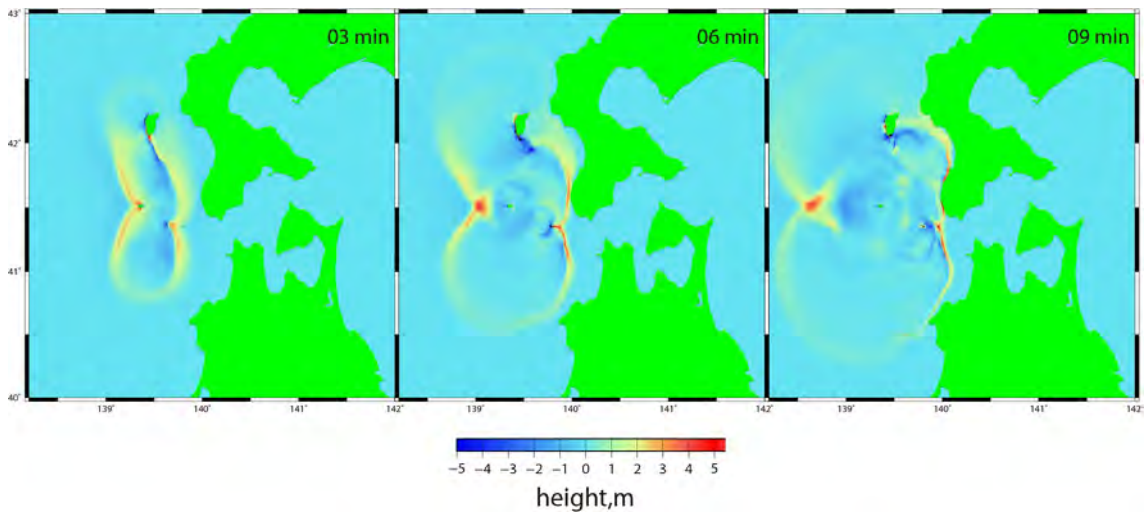


図7．地震発生後の津波伝播図

図5、6に示した断層モデルを用いて計算した津波の3分、6分、9分後の津波伝播図。

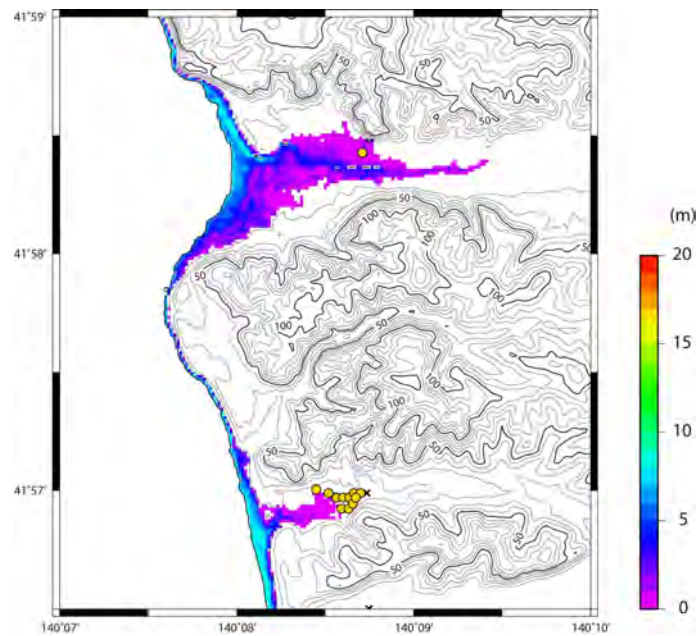


図8．檜山沿岸における13世紀の津波の浸水シミュレーション結果（浸水深）

13世紀の津波シミュレーションを実施し、遡上域における浸水深を求めた。浸水範囲は、13世紀の津波堆積物（オレンジの丸）の分布域に概ね達した。

(1) 実施機関名：

北海道立総合研究機構地質研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地球科学的総合調査による火山のモニタリングと熱水系のモデル化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

5 火山における地球物理学的・地球化学的モニタリングにより、地殻変動や温泉水・火山ガスの成分変化などの噴火の先行現象やそれに続く火山現象を捉える。

現在、火口域の膨張や、火山性地震の増加、温泉成分の変化といった現象が観測されている十勝岳では、それらの現象のメカニズムを明らかにするため、地球物理的・地球化学的・地質学的調査による多項目観測に基づき、火山体内部構造と熱水流動系のモデル化を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

5 火山においては、噴火の先行現象などの火山活動の変化を捉えるため、継続的に地殻変動や、地温、温泉水・火山ガスの成分・同位体比等の各種モニタリングを行う。

十勝岳では山体の膨張や、火山性地震の増加、温泉成分の変化などが観測されているが、これらのメカニズムが明らかになっていないため、火山活動の現状を評価することが難しかった。そこで、十勝岳における火山災害の防災・減災に向けて火山活動の現状を評価するために、以下の調査を行う。

平成 27～28 年度は、火口域において MT 探査を行い、火口域地下浅部の比抵抗構造を明らかにする。また、重力観測や火山ガス観測、過去の堆積物に対する熱水変質調査を行い、火口域での熱水系について検討する。これらを合わせて火口域における火山体内部構造のモデル化を行う。また、山腹の温泉湧出域では、温泉水の成分や同位体比の観測や、山腹域での MT 探査を行い、十勝岳周辺の熱水流動系についてモデル化を行う。

平成 29 年度は、継続的に行うモニタリングを基に、火山体内部構造と熱水流動系のモデルの検証を行う。

平成 30 年度は、モニタリングに基づいてモデルの検証を行うとともに、そのモデルに基づいて火口域地下浅部を膨張源とする地殻変動のメカニズムや、温泉成分の変化のメカニズムを明らかにする。

これらの観測データや結果については、気象台や大学と共有するとともに、地元自治体等にも情報提供をおこなう。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

当初の計画の通り、5 火山(雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳)において、地球物理学的・地球化学的モニタリングを継続して行い、火山活動の変化を捉えるためのデータの蓄積を行った。また、十勝岳においては、電磁気(MT)探査や重力観測、熱水変質調査を行い、火山体内部構造や熱水流動系について検討した。これらの調査の一部は北海道大学や札幌管区気象台と協力して行っており、情報の共有も随時行っている。

5 火山での地球物理学的・地球化学的モニタリング

(1) 雌阿寒岳

GPS 連続観測と火口域での地温連続観測、火山ガスおよび温泉水の観測、地下水位連続観測を行った。雌阿寒岳周辺の温泉水の Cl や SO₄ 濃度はここ数年、増加する傾向があったが、2016 年 9 月の採取試料では減少に転じた(図 1)。一方、酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。また、中マチネシリ火口の火山ガス凝縮水の酸素・水素同位体比にも大きな変化はなかった。GPS 観測では、2008 年 11 月の小噴火以降、火口域がわずかに膨張する傾向が観測されていたが、2012 年以降はその傾向が鈍化し、2016 年も続いた。

(2) 十勝岳

GPS 連続観測と火口域での地温連続観測、火山ガスおよび温泉水の観測、地下水位連続観測を行った。GPS 観測では、2006 年以降、火口域の膨張を示す変動を捉えており、2016 年度もその傾向が続いた。大正火口の火山ガスの温度や、化学成分、凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。吹上温泉地区の温泉では、1988-89 年噴火前と同様の Cl/SO₄ モル比の上昇が 2012 年に入り認められるようになったが、2013 年 4 月以降は横ばい~やや低下に変わり、2016 年は低下傾向で推移した。

(3) 樽前山

火口域での地温連続観測と火山ガスおよび温泉水の観測を行った。A 火口と B 噴気孔群の噴気温度はそれぞれ約 520 および約 380 で、高い状態が続いている。B 噴気孔群では 2008 年以降、硫黄化合物や HCl 成分の濃度減少が続いている。A 火口でも同様の減少傾向が続いていたが、2012 年頃からは横ばい傾向を示す。火山ガス凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。山麓の温泉水の化学成分は濃度の低下傾向が続いていたが、最近では横ばいとなっている。

(4) 有珠山

山頂・山麓での重力観測と火山ガス観測、地下水位連続観測を行った。山頂の溶岩ドームでは、山体の収縮に伴う重力値の増加が観測されているが、徐々に横ばい傾向になってきている。一方、外輪山では、2014 年以降、重力値はほぼ横ばいで推移している。山麓の重力値には変化はなかった。山頂 I 火口の噴気温度は約 400 でこれまでと変化はなく、火山ガス凝縮水の酸素・水素同位体比にも大きな変化はなかった。

(5) 北海道駒ヶ岳

火口域での地温連続観測と温泉水の観測、地下水位連続観測を行った。山麓の温泉水の温度や化学成分、酸素・水素同位体比に大きな変化はなかった。山麓での地下水位連続観測の結果には大きな変化が認められなかった。

十勝岳における調査

(1) MT 探査

十勝岳を横断する測線で MT 探査を行った(図2)。その結果、深度 3000m 以深(A)、火口域の地下数 100m~1500m の深さ(B) および地下浅部の広範囲に分布(C)する低比抵抗域が認められた。低比抵抗域 A は火山性地震の空白域に概ね一致する。低比抵抗域 B は、火口域で行った AMT 探査でも地下 300~400m 以深で南北に広く延びる低比抵抗域として見えている。低比抵抗域 C は、十勝岳周辺に広く分布する十勝・美瑛火砕流堆積物の分布域に対比される可能性がある。

(2) 精密重力観測

山麓から火口域にかけて、精密重力観測を行った。最近数年間は大正火口~62-3 火口にかけて重力値が減少していたが、2016 年の重力値は 2015 年と比較して大きな変化はなかった。ただし、2015 年までと同様に、火口域の観測点での隆起量に対して、重力値の減少は過剰である。また、2010~2016 年の観測結果からは、2013 年を境に膨張率および重力減少率が增大していることがわかった。

(3) 熱水変質調査

地表の熱水変質域や、1926 年噴火の岩屑なだれ堆積物、水蒸気噴火堆積物について熱水変質調査を行った。多くの熱水変質岩は主に明礬石とクリストバライトからなることから、火口域の表層~地下浅部は溶脱と硫酸塩鉱物の付加が起こり、粘土鉱物が生成しにくい環境だったと言える。一方、水蒸気噴火堆積物にはカオリナイトが普通に認められ、多量の石英と少量のパイロフィライトが含まれている場合があった。また、水蒸気噴火堆積物には火口域の地下では深度数 100m よりも深部の堆積物だけに含まれている普通角閃石が認められた。これらのことから、地下数 100m 以深には粘土化帯が分布しており、その温度は 250 以上であることが考えられる。

(4) 火山体内部構造のモデル化

各種調査・観測を基に火山体内部構造のモデル化を行った(図3)。火山活動が活発化すると山腹の温泉でマグマ性濃厚塩水の混入が認められるようになることをふまえると、MT 探査で認められた低比抵抗域 A はその熱水が分布している領域である可能性がある。一方、低比抵抗域 B は火口域の地下浅部において南北に延びる熱水系の分布域にあたると思われる。この領域は粘土化帯の分布域に一致すると考えられ、温度は~260 程度と考えられる。AMT 探査や MT 探査の結果に基づくと、火山活動の中心である山頂の火口域の地下では熱水系が上下に厚くなっていると考えられ、その領域は浅部での山体膨張を引き起こしている膨張源や、ごく浅部の火山性地震の発生領域に一致する。

- (9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- 荻野 激・高橋 良・岡崎紀俊(2016): 樽前山火山観測における湧水および地下水の水質調査報告(1998-2015)。北海道地質研究所報告, 88, 49-54.
 - 高橋 良・荻野 激・岡崎紀俊(2016): 北海道駒ヶ岳周辺の温泉水の化学成分と酸素・水素同位体比の特徴とその変化。北海道地質研究所報告, 88, 55-60.
 - 田村 慎・岡崎紀俊・高橋 良・橋本武志・奥田真央・菅野倅大朗・早川美土里・高田将仁・橋本政樹・三嶋 渉(2017) 十勝岳における電磁気探査 - 山体横断 MT 探査および火口近傍 AMT 探査 - 。Conductivity Anomaly 研究会 2017 年論文集(印刷中)

- (10) 平成 29 年度実施計画の概要：

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、これまでと同様に地殻変動や、地温、温泉水・火山ガスの化学成分・同位体比等の各種モニタリングを行う。また、十勝岳においては、火山体内部構造と熱水流動系のモデルの検証を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地質研究所 地域地質部 地質防災グループ

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学大学院理学研究院：橋本武志ほか 4 名

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道立総合研究機構 地質研究所

電話：011-747-2420

e-mail：

URL：<http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/index.html>

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋 良

所属：地域地質部 地質防災グループ

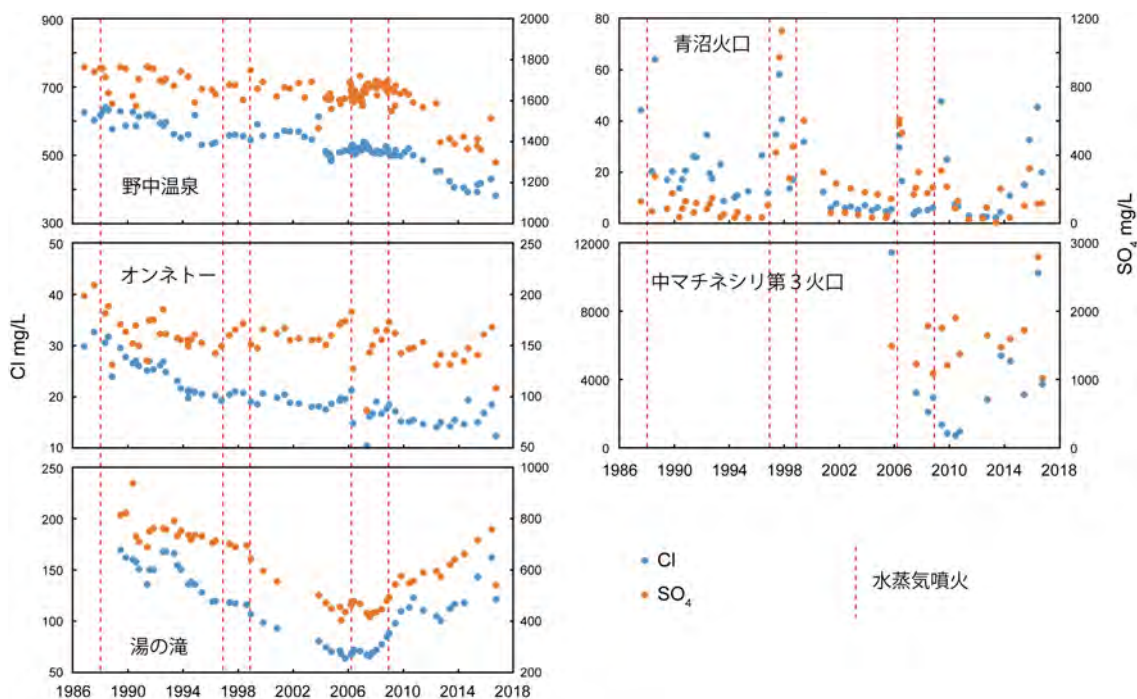


図1 雌阿寒岳周辺の温泉水などの Cl および SO₄ 濃度の変化（～2016年9月）

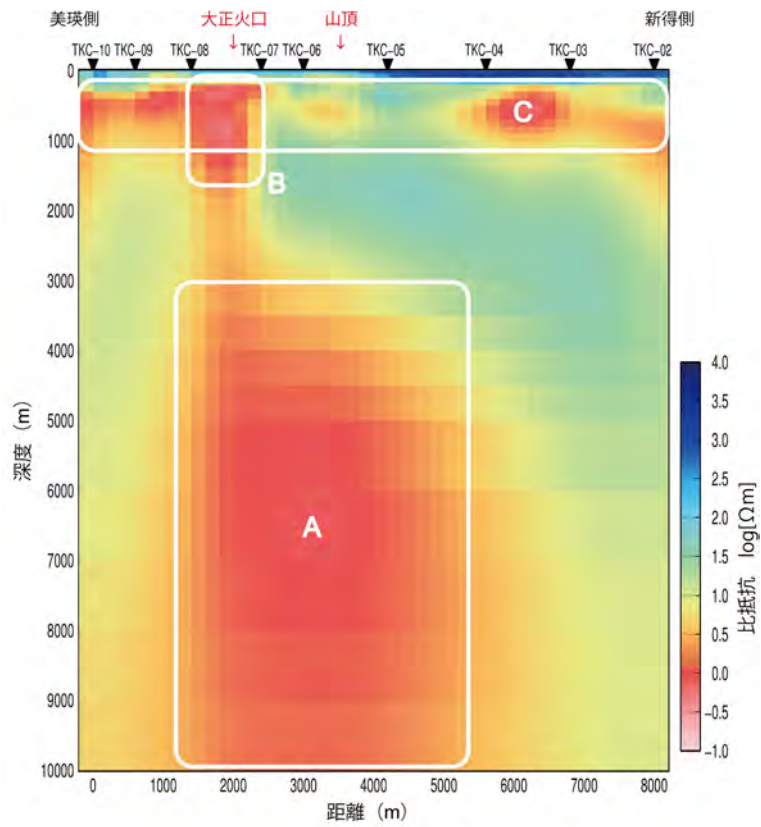


図2 十勝岳を横断する北西 - 南東測線での MT 探査の結果

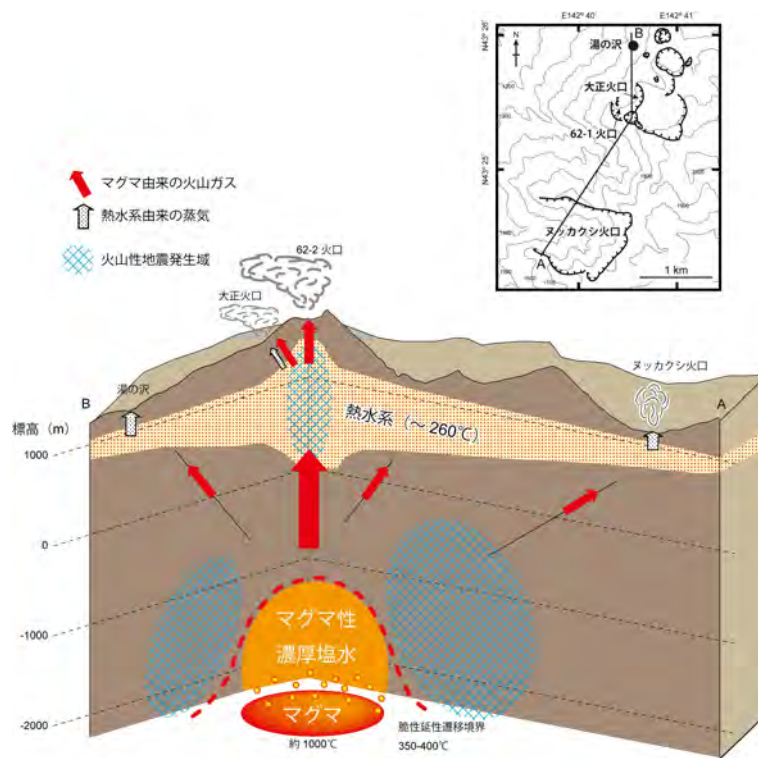


図3 十勝岳の火山体内部構造のモデル図

(1) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

富士山における地下水観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

平成 14 年度～18 年度にかけて行った「富士山の火山活動に関する研究」や平成 26 年度から始まった山梨県重点化研究課題「富士山火山防災のための火山学的研究」で、火山噴火予知の研究等に寄与する基礎データを得ることを目的にし、地下水位・水温等の観測点を設け充実化を図っており、観測を行っている。いくつかの火山地帯の地下水位・地下水温および水質の観測の変化が火山活動に関連していることが明らかにされつつあり、噴火の前兆現象および噴火後の推移を予測する上で重要な観測項目とされている。しかし、現在のところ富士山北麓において火山活動との関連で地下水の観測点は限られており、北西麓はカバーできていない。したがって、新規の観測点の増設や既存の温泉井などの活用ができるように、地下水観測体制の強化整備等を図っていく。また、星山期堆積物中の地下水挙動の把握のための研究を同時並行に進め、星山期堆積物や深部地下水の地下水循環系を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

山梨県富士山科学研究所 研究・企画費

噴火タイプや推移に影響を与える可能性のある富士山の地下水体の実情を把握するために星山期堆積物や深部地下水中の地下水挙動、水循環系の把握を行う。また、地下深部へ降水等がどのような浸透過程(浸透ライン)を明らかにする。

平成 27 年度においては、浸透ライン研究として、富士山頂および複数標高の降水試料を収集し、それらについて水素・酸素・塩素の安定同位体比を分析する。また、地下水体の研究として、水理地質踏査と既存ボーリングなどの地下地質資料収集を実施する。

平成 28 年度においては、浸透ライン研究として、富士山北東麓エリアを中心とした複数標高の地下水試料を収集し、それらについて被圧地下水研究の湧水試料と同項目の同位体比分析と水質分析を実施する。地下水体研究として富士山北麓に分布する温泉水の分析を行い、深部地下水の実情を把握する。

平成 29 年度においては、前年度までの研究での不足分について、地下水体の分布等の実態把握や浸透ラインを明らかにするための地下水観測体制の強化を図る。引き続き、浸透ラインおよび地下水体の把握の研究を実施する。

平成 30 年度においては、上記の研究における不足データの補充を実施し、地下水浸透ラインの推測を行う。その結果を用いて被圧地下水の浸透標高を推定し、水理地質構造を加味して、深部地下水も含めて地下水循環系を検討する。

(8) 平成 28 年度の成果の概要：

火山活動の予兆現象として地下水の変動状態を監視することを目的に、富士北麓の 4 箇所に観測点を設けて地下水変動の連続観測を実施している。観測点 4 点は、北東麓忍野観測点、北麓富士吉田観測点、河口湖観測点、北西麓富士ヶ嶺観測点である。この 4 観測点で地下水位、地下水温、電気伝導度を測定している。河口湖観測点と富士ヶ嶺観測点において、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震とそれに続いて発生した静岡県東部地震では地下水位の変動が見られたが、現在のところ、これ以外の変動は観測されていない。

しかし、現在のところ富士山北麓において火山活動との関連で地下水の観測点は限られており、側火口が揃う北西ラインを全てカバーできていない。したがって、新規の観測点の増設や既存の温泉井などの活用ができるように、地下水観測体制の強化整備等を図った。また、星山期堆積物中の地下水挙動の把握のための研究を同時並行に進め、星山期堆積物や深部地下水の地下水流動系を明らかにするために、既存の水井戸のデータを収集し、解析を行った。火山噴出物の放射性炭素年代が得られている資料が少ないため、既存の試料を探して年代測定を行う必要があった。

この中で富士五湖西湖北岸については、観測井をあらたに掘削し、観測点、機器を更新した。そのなかで火山噴出物の年代を知るために、オールコアを採取して、放射性炭素年代測定を行う予定である。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 平成 29 年度実施計画の概要：

前年度までの研究で、不足する部分があれば、地下水体の分布等の実態把握や浸透ラインを明らかにするための地下水観測体制の強化を図る。

引き続き、浸透ラインおよび地下水体の把握のために富士北麓に分布する温泉水の分析も合わせて、深部地下水流動系の研究を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部
内山高、吉本充宏、山本真也、常松佳恵、馬場章
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部
電話：0555-72-6211 (代表)
e-mail：vulcano@mfri.pref.yamanashi.jp
URL：http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：内山 高
所属：山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部

(1) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

富士山の噴火事象系統樹の高精度化のための基礎研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

富士山における噴火事象系統樹を作成させるために既存データの集約と新たな地質情報をもとに噴火履歴の高精度化をおこない、その結果をもとに噴火事象系統樹を試作する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

山梨県富士山科学研究所 研究・企画費

重点化研究 「富士山火山防災のための火山学的研究～噴火履歴とそのシミュレーション～」

富士山研究 「富士山の火山噴出物に関するデータベースの構築」

基盤研究 「富士山の古地磁気を用いた溶岩噴出年代の決定」

噴火事象系統樹を高精度に作成するためには、詳細な噴火履歴と噴火推移が明らかになっている必要がある。富士山では近年、産業技術総合研究所による火山地質図の改訂が行われたが、未解明な点も多い。最近 3200 年間に 100 あまりの噴出物が確認されているが、噴火年代が確定しているものは約 3 割で、噴火推移が明らかになっている噴火は 1 割程度である。本研究では、まず既存研究のデータを集約し、データベースを構築する。その中で年代未詳の噴出物については放射性炭素年代測定を行い、噴火履歴の高精度化を図る。一方、放射性炭素年代測定用の試料の得られない噴出物(溶岩)については、古地磁気学的手法を用いて年代決定を行う。さらに地質調査をもとに個々の噴火の噴火推移を検証する。これらのデータを元に噴火事象系統樹を作成する。

平成 27 年度においては、富士山における既存のデータを集約し、データベースを構築する。その中で年代未詳の噴出物について地質調査を行い、放射性炭素年代測定を行う。一方古地磁気学的手法を

用いた年代測定には、年代既知の溶岩の古地磁気方位のデータベースが重要となる。古地磁気方位のデータベースのための測定を行う。

平成 28 年度においては、平成 27 年度に引き続きデータの集約および年代測定を行い、溶岩の古地磁気測定を行う。また、噴火推移の明らかに成っていない噴火の噴火推移を明らかにするための地質調査を実施する。

平成 29 年度においては、年代未知の溶岩の古地磁気測定を行い、年代を決定する。噴火推移を明らかにするための地質調査を継続する。

平成 30 年度においては、上記で収集したデータを元に噴火事象系統樹の試作を行う。

(8) 平成 28 年度の成果の概要 :

富士山の噴火災害予測を行うためには、噴火事象系統樹を高精度に作成する必要がある、その基礎データを収集するために、詳細な噴火履歴調査の解明が必要である。これらの目的を達成するために、「富士山の火山噴出物に関するデータベースの構築」と「富士山の古地磁気を用いた溶岩噴出年代の決定」の研究調査を実施している。

昨年度に引き続き、平成 28 年度においては富士山における文献調査を行い、既存のデータをデータベース化の作業を実施中である。平成 27 年度に予備調査を実施した富士山北麓市街地に最も近い雁ノ穴火口についてトレンチ調査を実施した。トレンチ調査の結果、割れ目火口の南端と北端部に於いて供給岩脈の掘削に成功し、割れ目火口の南端と北端を推定した(図 1)。雁ノ穴丸尾溶岩下位の土壤層から採取された炭質物の年代測定を実施した結果、 $1685 \pm 20\text{ybp}$ (暦年校正値 $261\text{-}279\text{ cal AD}$ (6.0%), $327\text{-}409\text{ cal AD}$ (89.4%)) の値が得られた。また、高精度年代推定が可能な湖底堆積物を使って噴火履歴を解明するために本栖湖、西湖、河口湖で掘削調査を実施、これらのコアサンプルの解析中である。

古地磁気学的手法を用いた年代測定については、富士山北麓及び南麓に露出する AD400 年以降の溶岩・火砕丘 13 層準 249 試料を採取・測定し、それらの古地磁気方位と既存の古地磁気永年変化との整合性を確認した。正確な古地磁気方位を得るために、溶岩 1 層につき 2~5 地点、1 地点あたり 6~10 試料を定方位サンプリングし、交流消磁装置・スピナー磁力計を用いて岩石磁気を測定した。定方位サンプリングでは、コア試料ごとに太陽方位と磁針が示す方位の差分である偏角を測定し、溶岩や火山体が及ぼす局所的な磁気異常の影響も検証している。永年変化モデル JRFMK.1(Hatakeyama et al.,2012) と測定結果を比較すると、AD1707 年の宝永噴火や AD1000 から 1100 年にかけては層序とも整合性が認められるが、整合的ではない溶岩も複数認められる(図 2)。また、AD800 年と推定されている鷹丸尾溶岩が AD630 年頃を示し、下位の檜丸尾溶岩と重複している。富士火山地質図第 2 版(高田ほか, 2016) と異なる年代観が古地磁気学的手法からは示唆され、テフラ層序、岩石学的特徴を加えた検討が必要である。

(9) 平成 28 年度の成果に関連の深いもので、平成 28 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 29 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度は、平成 28 年度に引き続きデータの集約および年代測定を実施し、噴火推移の明らかに成っていない噴火の噴火推移を明らかにするための地質調査を実施する。特に東北麓においてトレンチ調査を実施する。また、古地磁気学的手法を用いた年代測定に関しては、年代未詳の溶岩の測定に加えて、地磁気測定を広域的に実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部

吉本充宏、馬場章、山本真也、常松佳恵、内山高

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 中田節也 教授

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部
電話：0555-72-6211 (代表)
e-mail：vulcano@mfri.pref.yamanashi.jp
URL：http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
氏名：吉本 充宏
所属：山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部



図 1

雁ノ穴丸尾溶岩の割れ目火口北端と推定された地点におけるトレンチ調査。写真中央に漏斗状の供給岩脈が観察できる。

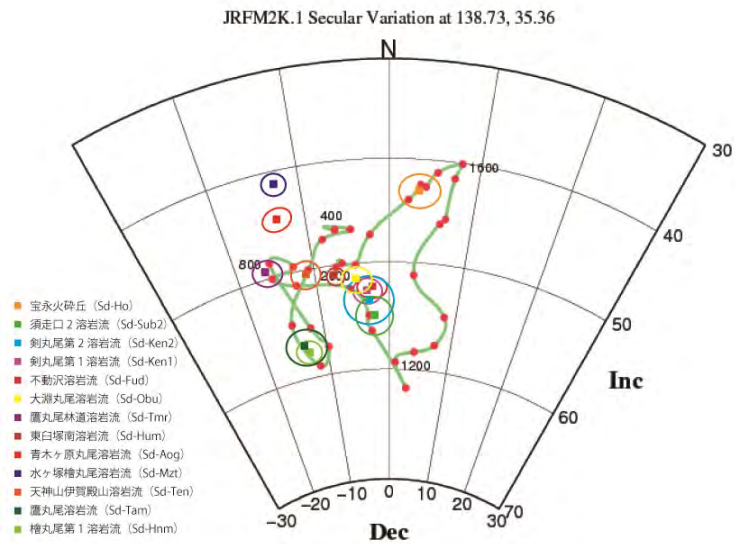


図 2

溶岩 13 層の古地磁気方位と永年変化モデル (JRFM2K.1)。調和的に分布しているが、青木ヶ原丸尾溶岩・水ヶ塚檜丸尾溶岩は有意に伏角が異なる。